

SKRIPSI

**“ PENGARUH PERUBAHAN POLA ALIRAN AKIBAT SEDIMEN
MELAYANG (UJI MODEL LABORATORIUM) ”.**



Oleh :

RIVALDI ABIDIN ABDA : 105 810 1439 11

AWALUDDIN : 105 810 1467 11

**JURUSAN TEKNIK SIPIL PENGAIRAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2018



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **PENGARUH PERUBAHAN POLA ALIRAN TERHADAP SEDIMEN MELAYANG (UJI MODEL LABORATORIUM).**

Nama : RIVALDI ABIDIN ABDA

Stambuk : 10581 01439 11

Nama : AWALUDDIN

Stambuk : 10581 01467 11

Makassar, 19 Desember 2017

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I



Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT.

Pembimbing II

Dr. Ir. Nenny, ST., MT.

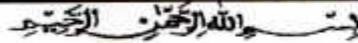
Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil



MuH. Syafaat S. Kuba, ST

NBM : 975 288



PENGESAHAN

Skripsi atas nama Rivaldi Abidin Abda dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 01439 11 dan Awaluddin dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 01467 11, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 1067/05.A.2-II/II/39/2017, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 16 Desember 2017

Makassar, 30RabiulAwal 1439H
19Desember 2017 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

2. Penguji

a. Ketua : Ir. H. Maruddin Laining, MS.

b. Sekretaris : Farida Gaffar, ST., MM.

3. Anggota

1. Dr. Ir. Hj. Ratna Musa, MT.

2. Dr. Muh. Yunus Ali, ST., MT.

3. Ir. Mahmuddin, ST., MT.

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT.

Pembimbing II

Dr. Ir. Nenny, ST., MT.



Dekan

Dr. Hamzah Al Imran, ST., MT.

NBM : 855 500

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul "PENGARUH PERUBAHAN POLA ALIRAN AKIBAT SEDIMEN MELAYANG (UJI MODEL LABORATORIUM) ”

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kekhilafan baik itu dari segi teknis penulisan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat lebih bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Hamzah Al Imran, ST.,MT sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Muh. Syafaat S. Kuba, ST. sebagai Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak selaku Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT Pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT selaku pembimbing II, yang

telah banyak meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya skripsi ini.

4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda, Ibunda dan Saudara-saudara yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, do'a, dorongan dan pengorbanannya.
6. Rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik, terkhusus Saudaraku Angkatan 2011 yang dengan keakraban dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan proposal penelitian yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara. Amin.

Makassar.....

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

i

LEMBAR PERSETUJUAN**KATA PENGANTAR i****DAFTAR ISI v****DAFTAR GAMBAR vii****DAFTAR TABEL ix****DAFTAR NOTASI..... xi****DAFTAR LAMPIRAN xii****BAB I PENDAHULUAN**

A. Latar Belakang 1

B. Rumusan Masalah 3

C. Tujuan Penelitian4

D. Batasan Masalah4

E. Manfaat Penelitian5

F. Sistematika Penulisan6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Sedimen 8

1. Pengertian sedimen	8
2. Proses sedimen	9
3. Angkutan sedimen (transpor sedimen)	10
4. Macam-macam angkutan sedimen	16
B. Pola aliran	18
1. Macam-macam pola aliran	18
C. Saluran Terbuka.....	23
1. Definisi Saluran Terbuka.....	23
2. Unsur unsur geometri saluran.....	24
3. Bentuk Saluran	25
4. Material Pembentukan dasar sungai.....	26
D. Karakteristik Aliran	27
1. Definisi Erosi	21
2. Tipe Aliran.....	28
3. Sifat-sifat Aliran.....	30
E. Model Fisik	33
1. Hukum Dasar Model	33
2. Kesebangunan (similaritas).....	35
3. Model Terdistorsi	37

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Dan Waktu Penelitian.....	40
B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data.....	40
C. Alat Dan Bahan Penelitian	41

D. Variabel Yang Digunakan.....	42
E. Langkah-langkah Penelitian	43
F. PencatatanData.....	44
G. Analisa Data	44
H. Flow Chart Penelitian	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian.....	46
B. Pembahasan	47

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN.....	56
B. SARAN	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

- A. LAMPIRAN 1
- B. LAMPIRAN 2
- C. LAMPIRAN 3

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Tampang panjang saluran dengan dasar granuler	13
Gambar 2. Angkutan sedimen pada dasar granuler	14
Gambar 3. Transpor sedimen dalam aliran air sungai	16
Gambar 4. Skema angkutan Sedimen	20
Gambar 5. Berbagai macam bentuk saluran terbuka.....	30
Gambar 6. Aliran turbulen dan laminar	36
Gambar 7. Dampak perubahan tata guna lahan	49
Gambar 8. Flume	54
Gambar 9. Flow Chart Penelitian	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Tampang panjang saluran dengan dasar granuler	11
Gambar 2. Angkutan sedimen pada tampang panjang dengan dasar granuler.....	12
Gambar 3. Transpor sedimen dalam air sungai.....	14
Gambar 4. Skema angkutan Sedimen	18
Gambar 5. Pola Aliran Dendritik.....	18
Gambar 6. Pola Aliran Rectangular.....	19
Gambar 7. Pola Aliran Trelis.....	20
Gambar 8. Pola Aliran Paralel	20
Gambar 9. Pola Aliran Radial Sentrifugal	21
Gambar 10 Pola Aliran Radial Sentripetal	22
Gambar 11. Pola Aliran Annular	22
Gambar 12. Macam macam bentuk saluran terbuka	26
Gambar 13. Aliran turbulen dan Laminer	32
Gambar 14. Flume	41
Gambar 15. Flow Chart Penelitian	45

Gambar 16. . Bilangan Froude untuk variasi debit normal dalam keadaan tanpa sedimen dan menggunakan sedimen.....47

Gambar17. Bilangan Froude untuk variasi debit banjir dalam keadaan tanpa sedimen dan menggunakan sedimen48

Gambar 18. Hubungan antara kecepatan (m/det) dan Bilangan Froude pada debit banjir51

Gambar 19. Grafik perbandingan kecepatan aliran dengan sedimen pada debit normal dan debit banjir55

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Proses Sedimen Dasar	12
Tabel 2. Hasil Perhitungan angka froude debit normal	46
Tabel 3. Hasil Perhitungan angka froude debit banjir	48
Tabel 4. Perhitungan Bilangan Reynold debit normal	49
Tabel 5. Perhitungan Bilangan Reynold debit banjir	50
Tabel 6. Hasil Perhitungan angka froude debit	51
Tabel 7. Rekapitulasi Bilangan Froude dan Bilangan Reynold pada debit Normal.	52

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

D_s	=	diameter butiran (m)
g	=	percepatan gravitasi (m/dt)
h	=	kedalaman aliran
l	=	kemiringan dasar saluran arah memanjang
ρ_s	=	rapat massa butiran (kg/m ³)
ρ_s	=	rapat massa fluida (kg/m ³)
U^*	=	kecepatan geser butiran (m/dt)
Re	=	Angka Reynold
	=	Kecepatan rata-rata aliran (m/det)
R	=	Jari-jari Hidrolis (m)
μ	=	kekentalan (<i>viscositas</i>) kinematik cairan (m ² /det)
Fr	=	Angka Froude
	=	Kecepatan rata-rata aliran (m/det)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat- alat yang digunakan dalam penelitian

Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian

Lampiran 3. Tabel data hasil pengolahan data

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Proses gerusan diakibatkan oleh pengaruh morfologi dari sungai yang berupa tikungan atau adanya penyempitan pada saluran sungai. Morfologi sungai merupakan salah satu faktor yang menentukan dalam proses terjadinya gerusan, hal ini disebabkan aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas (*free surface*). Kondisi aliran saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebasnya cenderung berubah sesuai waktu dan ruang, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan saluran bebas itu sendiri. Fenomena hidrolis utamanya sungai atau saluran terbuka ternyata tidak sesederhana yang kita bayangkan. Selain terjadinya pengaliran air sungai atau saluran-saluran terbuka juga melakukan aktifitas pengangkutan sedimen, dimana sedimen tersebut berasal dari hasil penggerusan / erosi di *catchment area*, bagian hilir (*downstream*) saluran, bagian dasar maupun tepi saluran.

Di sungai maupun di saluran–saluran terbuka lainnya, ketika terjadi erosi maka akan menyebabkan pendangkalan sungai atau saluran – saluran karena angkutan sedimentasi dan hal ini akan sangat berpengaruh bagi kehidupan manusia. Aliran saluran merupakan aliran permukaan yang dapat menjadi sumber air baku guna memenuhi kebutuhan manusia akan sumber air, namun saat ini banyak sungai ataupun saluran telah mengalami penurunan produktifitas.

Salah satu faktor yang menjadi penyebab menurunnya produktifitas saluran adalah sedimentasi.

Pergerakan air merupakan peristiwa yang sangat kompleks, disebabkan pergerakan air yang tidak homogen di sungai / saluran. Peningkatan gaya gesek yang terjadi pada dasar saluran akan membawa bahan sedimen yang lebih besar, terutama kecepatan aliran dibagian tengah sungai / middle stream.

Jenis pola alur sungai antara alur sungai utama sangat bervariasi. Adanya perbedaan pola alur sungai antar wilayah sangat ditentukan oleh perbedaan kemiringan topografi dan struktur batuan, pola alur sungai yang umum dikenal adalah pola dendritik, radial, *rectangular*, *trellis*, anular, dan paralel. Menurut aliran airnya, sungai dibedakan menjadi sungai permanen dan sungai non-permanen atau musiman.

Pada sungai-sungai aluvial yang relatif lurus, pengaruh aliran terhadap tegangan geser dasar relatif kecil jika dibandingkan ketika aliran memasuki bagian sungai menikung. Namun pada saat memasuki tikungan aliran mulai membesar yang menyebabkan tegangan geser dasar mulai membesar pula. Hal ini berdampak pada terjadinya gerusan pada bagian luar tikungan dan lain pihak terjadinya pengendapan di bagian dalam tikungan.

Di dalam aliran air terangkut juga material-material sedimen yang berasal dari proses erosi yang terbawa oleh aliran air dan dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan akibat sedimentasi dimana aliran air tersebut akan bermuara di laut.

Muatan sedimen dasar (bed load) adalah partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang sepanjang dasar sungai secara keseluruhan. Adanya sedimen muatan dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel di dasar sungai, gerakan

itu dapat bergeser, meng-gelinding datau meloncat–loncat tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang–kadang dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak kearah hilir.

Proses sedimentasi pada suatu sungai meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan dan pemadatan dari sedimentasi itu sendiri. Pengendapan sedimen merupakan permasalahan yang paling dominan pada saluran terbuka.

Berdasarkan uraian di atas maka penulis tertarik untuk memilih judul dalam penulisan ini tugas akhir "**PENGARUH PERUBAHAN POLA ALIRAN TERHADAP SEDIMEN MELAYANG (UJI MODEL LABORATORIUM) ”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dirumuskan bahwa masalah yang dapat dijadikan dasar dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kecepatan aliran terhadap pola aliran dengan kondisi debit normal dan debit banjir
2. Bagaimana pengaruh kecepatan aliran terhadap sedimen melayang dengan kondisi debit normal dan debit banjir.

C. Tujuan Penelitian

Dengan mengacu pada masalah yang telah dirumuskan oleh penulis, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui seberapa besar kecepatan aliran terhadap perubahan pola aliran dengan kondisi debit normal dan debit banjir.

3. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran terhadap sedimen melayang dengan kondisi debit normal dan debit banjir.

D. Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan mengenai kajian tentang Pengaruh perubahan pola aliran. Maka dalam tugas akhir ini perlu diberi batasan masalah yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada saluran terbuka (Uji model Laboratorium)
2. Saluran yang di gunakan berbentuk flume
3. Jenis air yang di gunakan dalam penelitian yaitu air tawar
4. Jenis sedimen yang digunakan yaitu variabel melayang.
5. Variabel penelitian adalah variasi: debit (Q), kecepatan (V), tinggi muka air (h)
6. Menggunakan rumus pendekatan

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perbandingan kecepatan aliran debit normal dan banjir
2. Mengetahui perngaruh sedimen terhadap debit aliran
3. Sebagai bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

F. Sistematika penulisan

Penulisan ini merupakan susunan yang serasi dan teratur oleh karena itu dibuat dengan komposisi bab-bab mengenai pokok-pokok

uraian sehingga mencakup pengertian tentang apa dan bagaimana, jadi sistematika penulisan diuraikan sebagai berikut

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan bab pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan tinjauan pustaka yang memuat secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep, prinsip atau teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah yang meliputi tentang, Morfologi sungai, Agradasi dan Degradasi, sifat sifat aliran, perubahan tata guna lahan, dampak perubahan lahan di hilir sungai, material pembentuk dasar sungai, kerikil sungai, model fisik, saluran terbuka, dan karakteristik aliran.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Merupakan metodologi penelitian yang menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian serta tahap-tahap dalam proses penelitian di laboratorium, dimulai dari pembuatan saluran, dan pengambilan data pada kondisi yang bervariasi

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan Hasil dan Pembahasan yang menguraikan tentang hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat deskripsi sistematis tentang data yang diperoleh. Sedangkan pada bagian pembahasan adalah mengolah data hasil penelitian dengan tujuan untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP

Merupakan penutup yang berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian, serta saran-saran dari penulis yang berkaitan dengan faktor pendukung dan faktor penghambat yang dialami selama penelitian berlangsung, yang tentunya diharapkan agar penelitian ini berguna untuk ilmu aplikasi rekayasa khususnya bangunan air dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sedimen

1. Pengertian Sedimen

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, didaerah genangan banjir, disaluran air, sungai, dan waduk. Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Proses erosi terdiri atas tiga bagian yaitu: pengelupasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan pengendapan (*sedimentation*)

Erosi dan sedimentasi merupakan proses terlepasnya butiran tanah dari induknya dari suatu tempat dan terangkutnya material tersebut oleh gerakan air atau angin kemudian diikuti oleh pengendapan material yang terjadi di tempat lain.

Sedimentasi dan erosi adalah dua hal yang sangat berkaitan erat. Erosi dan sedimentasi dapat disebabkan oleh aliran gleyter (es). Erosi juga sering disebut sebagai faktor penyebab banyaknya sedimen yang terangkut oleh air.

Sedimen dapat pula berasal dari erosi yang terjadi pada luar sungai. Sedimen terangkut oleh aliran sungai pada saat debitnya meningkat dari bagian hulu dan kemudian di endapkan pada alur sungai

yang landai atau pada ruas sungai yang melebar, selanjutnya pada saat debitnya mengecil dan kandungan beban dalam aliran mengecil, maka sedimen yang mengendap tersebut secara berangsur - angsur terbawa hanyut lagi dan dasar sungai akan berangsur turun kembali.

2. Proses Sedimen

Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan proses sedimentasi. Proses sedimentasi berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen (sumber: Jurnal sipil statik vol. 1 No.6 mei 2013)

Proses sedimentasi dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

- a) Proses sedimentasi secara geologis Sedimentasi secara geologis merupakan proses erosi tanah yang berjalan secara normal, artinya proses pengendapan yang berlangsung masih dalam batas-batas yang diperkenankan atau dalam keseimbangan alam dari proses degradasi dan agradasi pada perataan kulit bumi akibat pelapukan.
- b) Proses sedimentasi yang dipercepat: Sedimentasi yang dipercepat merupakan proses terjadinya sedimentasi yang menyimpang dari

proses secara geologi dan berlangsung dalam waktu yang cepat, bersifat merusak atau merugikan dan dapat mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan hidup. Kejadian tersebut biasanya disebabkan oleh kegiatan manusia dalam mengolah tanah. Cara mengolah tanah yang salah dapat menyebabkan erosi tanah dan sedimentasi yang tinggi.

3. Angkutan Sedimen (Transpor Sedimen)

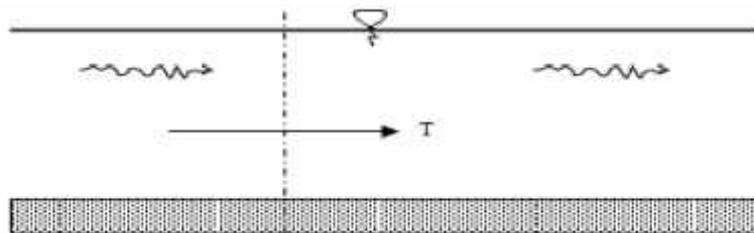
Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan atau menyeret butiran material sedimen. Pada waktu gaya-gaya yang bekerja pada butiran sedimen mencapai suatu harga tertentu, sehingga apabila sedikit gaya ditambah akan menyebabkan butiran sedimen bergerak, maka kondisi tersebut disebut kondisi kritis. Parameter aliran pada kondisi tersebut, seperti tegangan geser (τ), kecepatan aliran (U) juga mencapai kondisi kritik (sumber: skripsi kajian perubahan pola gerusan pada tikungan sungai akibat penambahan debit)

Proses pengangkutan sedimen (*sediment transport*) dapat diuraikan meliputi tiga proses sebagai berikut :

- a. Pukulan air hujan (*rainfall detachment*) terhadap bahan sedimen yang terdapat diatas tanah sebagai hasil dari erosi percikan (*splash erosion*) dapat menggerakkan partikel-partikel tanah tersebut dan akan terangkut bersama-sama limpasan permukaan (*overland flow*).

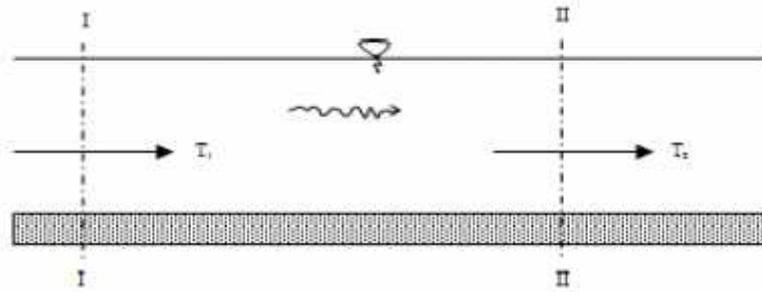
- b. Limpasan permukaan (*overland flow*) juga mengangkat bahan sedimen yang terdapat di permukaan tanah, selanjutnya dihanyutkan masuk kedalam alur-alur (*rills*), dan seterusnya masuk kedalam selokan dan akhirnya ke sungai.
- c. Pengendapan sedimen, terjadi pada saat kecepatan aliran yang dapat mengangkat (*pick up velocity*) dan mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*) yang dipengaruhi oleh besarnya partikel-partikel sedimen dan kecepatan aliran.

angkutan sedimen merupakan perpindahan tempat bahan sedimen *granular (non kohesif)* oleh air yang sedang mengalir searah aliran. Banyaknya angkutan sedimen T dapat ditentukan dari perpindahan tempat suatu sedimen yang melalui suatu tampang lintang selama periode waktu yang cukup. Lihat Gambar 1. T dinyatakan dalam (berat, massa, volume) tiap satuan waktu.



Gambar 1. Tampang panjang saluran dengan dasar granuler.
Sumber : (Mardjikoen, 1987)

Laju sedimen yang terjadi biasa dalam kondisi seimbang (*equilibrium*). Erosi (*erosion*), atau pengendapan (*deposition*), maka dapat ditentukan kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses tersebut. Proses sedimentasi di dasar saluran dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Angkutan sedimen pada tampang panjang dengan dasar granuler . sumber :(Mardjikoen, 1987)

Tabel 1. Proses Sedimen Dasar

Perbandingan T	Proses yang terjadi	
	Sedimen	Dasar
$T_1 = T_2$	Seimbang	Stabil
$T_1 < T_2$	Erosi	Degradasi
$T_1 > T_2$	Pengendapan	Agradasi

Kondisi yang dikatakan sebagai awal gerakan butiran adalah salah satu dari peristiwa berikut :

1. Satu butiran bergerak,
2. Beberapa (sedikit) butiran bergerak,
3. Butiran bersama-sama bergerak dari dasar, dan
4. Kecenderungan pengangkutan butiran yang ada sampai habis.

Tiga faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu

1. Kecepatan aliran dan diameter/ukuran butiran,
2. Gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran, dan
3. Gaya geser kritis.

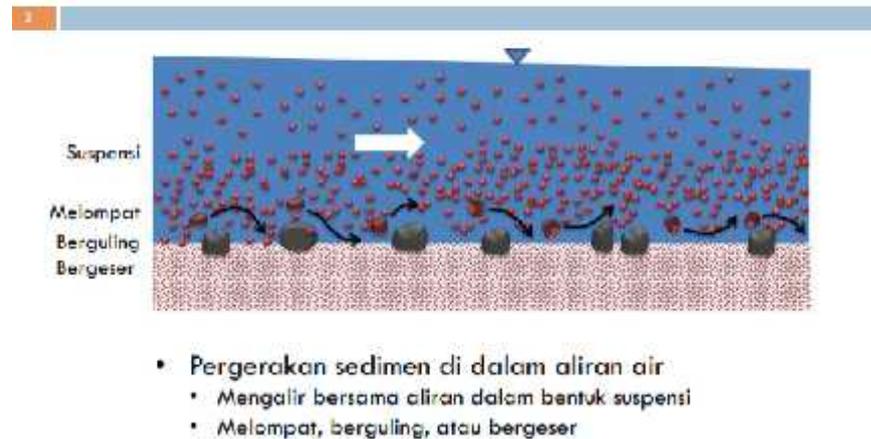
Partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan muatan sedimen dasar (*bed load*). Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel-partikel

dasar sungai. Gerakan itu dapat bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak ke arah hilir.

besarnya transport sedimen dalam aliran sungai merupakan fungsi dari suplai sedimen dan energi aliran sungai (*stream energy*). Ketika besarnya energi aliran sungai melampaui besarnya suplai sedimen, terjadilah degradasi sungai. Pada sisi lain, ketika suplai sedimen lebih besar dari pada energi aliran sungai, terjadilah aggradasi sungai. Hasil penelitian di lapangan menunjukkan bahwa aliran sungai merupakan sistem yang bersifat dinamika sehingga aliran air sungai selalu bervariasi.

proses Transportasi sedimen adalah begitu sedimen memasuki badan sungai, maka berlangsunglah transport sedimen. Kecepatan transport merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkut aliran air dalam bentuk terlarut (*wash load*). Sedangkan partikel yang lebih besar, antara lain, pasir cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*) seperti pada gambar berikut :

Transpor Sedimen di Sungai



Gambar 3. Transpor sedimen dalam aliran air sungai sumber : (Asdak, 2014)

Besarnya ukuran sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh interaksi faktor-faktor sebagai berikut : ukuran sedimen yang masuk kedalam sungai/saluran air, karakteristik saluran, debit, dan karakteristik fisik partikel sedimen. Besarnya sedimen yang masuk ke sungai dan besarnya debit ditentukan oleh faktor iklim, topografi, geologi, vegetasi, dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal datangnya sedimen. Sedang karakteristik sungai yang penting, terutama bentuk morfologi sungai, tingkat kekasaran dasar sungai, dan kemiringan sungai. Interaksi dan masing-masing faktor tersebut di atas akan menentukan jumlah dan tipe sedimen serta kecepatan transport sedimen.

Berdasarkan pada jenis sedimen dan ukuran partikel-partikel tanah serta komposisi mineral dari bahan induk yang menyusunnya, dikenal bermacam jenis sedimen seperti pasir, liat, dan lain sebagainya.

Tergantung dari ukuran partikelnya, sedimen ditemukan terlarut dalam sungai atau disebut muatan sedimen (*suspended sediment*) dan merayap di dasar sungai atau dikenal sebagai sedimen dasar (*bed load*). (Asdak, 2014)

Menurut ukurannya, sedimen dibedakan menjadi :

1. Liat ukuran partikelnya $< 0,0039$ mm
2. Debu ukuran partikelnya $0,0039-0,0625$ mm
3. Pasir ukuran partikelnya $0,0625-2,0$ mm
4. Pasir besar ukuran partikelnya $2,0-64,0$ mm

Proses pengangkutan sedimen (*sediment transport*) dapat diuraikan meliputi tiga proses sebagai berikut :

- a) Pukulan air hujan (*rainfall detachment*) terhadap bahan sedimen yang terdapat diatas tanah sebagai hasil dari erosi percikan (*splash erosion*) dapat menggerakkan partikel-partikel tanah tersebut dan akan terangkut bersama-sama limpasan permukaan (*overland flow*).
- b) Limpasan permukaan (*overland flow*) juga mengangkat bahan sedimen yang terdapat di permukaan tanah, selanjutnya dihanyutkan masuk kedalam alur-alur (*rills*), dan seterusnya masuk kedalam selokan dan akhirnya ke sungai.
- c) Pengendapan sedimen, terjadi pada saat kecepatan aliran yang dapat mengangkat (*pick up velocity*) dan mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*) yang dipengaruhi oleh besarnya partikel-partikel sedimen dan kecepatan aliran.

Ada dua kelompok cara mengangkut sedimen dari batuan induknya ke tempat pengendapannya, yakni suspensi (*suspended load*) dan (*bed load transport*). Di bawah ini diterangkan secara garis besar keduanya :

a) Suspensi

Dalam teori segala ukuran butir sedimen dapat dibawa dalam suspensi, jika arus cukup kuat. Akan tetapi di alam, kenyataannya hanya material halus saja yang dapat diangkut suspensi. Sifat sedimen hasil pengendapan suspensi ini adalah mengandung prosentase masa dasar yang tinggi sehingga butiran tampak mengambang dalam masa dasar dan umumnya disertai memilahkan butir yang buruk. Cirilain dari jenis ini adalah butir sedimen yang diangkut tidak pernah menyentuh dasar aliran.

b) Bed load transport

Berdasarkan tipe gerakan media pembawanya, sedimen dapat dibagi menjadi:

1. Endapan arus traksi
2. Endapan arus pekat (*density current*) dan
3. Endapan suspensi.

4. Macam – Macam Angkutan Sedimen

Pembagian angkutan sedimen menurut sumber asalnya dapat di bedakan menjadi:

- 1) Muatan material dasar (*bed material transport*), dimana sumber asal material yaitu dari dasar. Angkutan ini ditentukan oleh keadaan dasar aliran angkutan bed material dapat berubah angkutan dasar maupun

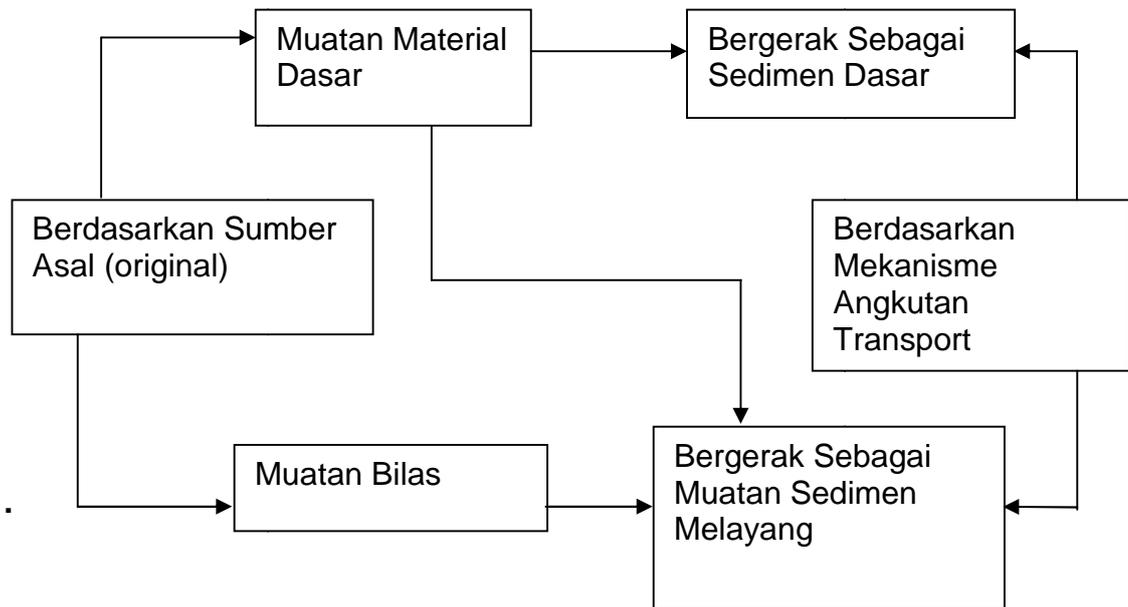
angkutan melayang tergantung dari jenis, ukuran dan keadaan materialnya.

- 2) Muatan bilas (*wash load*), angkutan partikel-partikel halus berupa lempung (*silt*) dan debu (*duts*) yang terbawah oleh aliran sungai. Partikel-partikel ini akan terbawah oleh aliran sungai sampai ke laut atau dapat juga terendapkan pada aliran tenang atau pada aliran yang tergenang. Sumber utama dari muatan bilas adalah hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah daerah pengaliran sungai, hasil pelapukan ini akan terbawah oleh aliran permukaan atau angin kedalam sungai.

Sedangkan menurut mekanisme pengangkutan dapat dibedakan menjadi:

- 1) Muatan sedimen dasar (*bed load*), dimana gerakan dan perpindahan tanahnya selalu pada dasar saluran atau aliran dengan cara melompat (*jatuh*), berguling dan menggelinding. Akan tetapi partikel angkutan dasar ini lambat laun kemungkinan dapat berubah diri menjadi angkutan melayang akibat percobaan-percobaan selama dalam pemindahannya.
- 2) Muatan sedimen melayang (*suspended load*), dimana perpindahan partikel-partikel tanahnya bergerak melayang-layang dalam air dan terbawah aliran air.

Secara skematis angkutan sedimen dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4. Skema angkutan Sedimen Sumber : soewarno, 1991

B. Pola aliran

Pola aliran merupakan hasil proses geomorfologi pada permukaan bumi dengan struktur geologi tertentu. Ada beberapa pola aliran sungai, antara lain sebagai berikut :

a) Pola aliran sungai dendritik

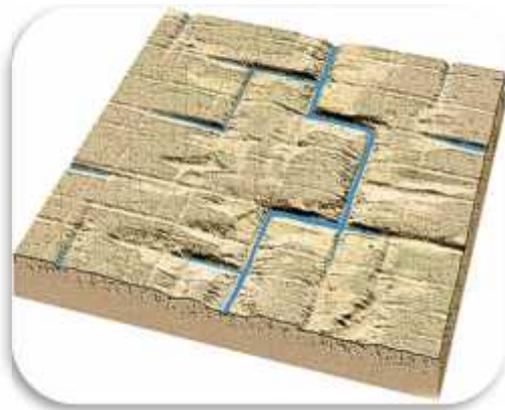


Gambar 5 P.A Dendritik

- Pola aliran dendritik memiliki bentuk yang tidak teratur

- Berkembang pada daerah dengan curah hujan tinggi serta tidak ada kenampakan struktur geologi yang dominan & komposisi batuan sama
- Bentuk pola aliran ini menyerupai percabangan pohon.

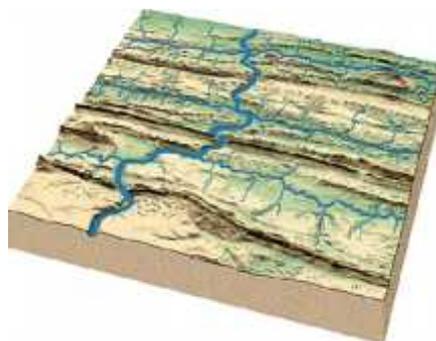
b) Pola aliran sungai rectangular



Gambar 6 P.A Rectangular

- Pola aliran ini terdapat pada daerah dengan struktur patahan (*fault*) atau mempunyai banyak retakan (*joint*)
- Pola aliran ini ditandai oleh pertemuan aliran sungai utama dengan anak sungai membentuk pola saling tegak lurus

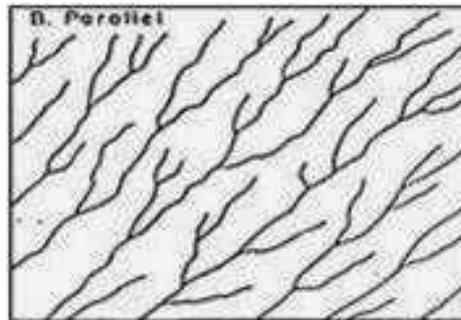
c) Pola aliran sungai trellis



Gambar 7 P.A Trellis

- Pola aliran ini berbentuk seperti teralis atau menyirip seperti daun
- Terdapat pada daerah dengan struktur lipatan, biasanya juga didukung oleh adanya patahan atau retakan
- Pola aliran ini terbentuk ketika lembah sempit berbatuan lunak dipisahkan oleh perbukitan paralel berbatuan resisten

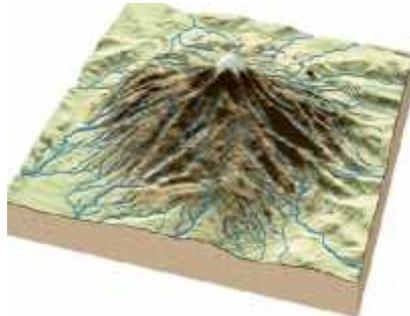
d) Pola aliran sungai paralel



Gambar 8 P.A Paralel

- Pola aliran ini memiliki arah yang saling sejajar, terkendali oleh proses dan struktur geologi
- Pola ini terbentuk pada daerah yang kemiringan lerengnya dapat menghambat kerja angin atau faktor lain yang dapat menyebabkan terjadinya pembengkokan alur.

e) Pola aliran sungai radial sentrifugal



Gambar 9 P.A Radial Sentrifugal

- Pola aliran ini memiliki arah menyebar dari satu titik puncak ke segala arah,
- di jumpai pada daerah berbentuk kerucut

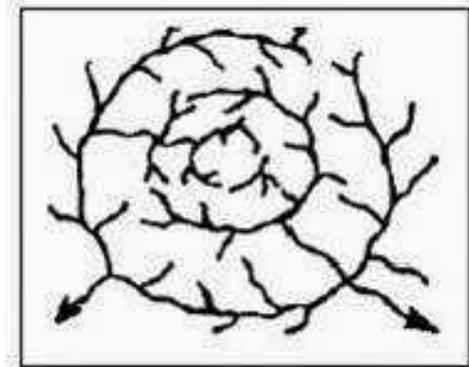
f) Pola aliran sungai radial sentripetal



Gambar 10 P.A Radial Sentripetal

- Pola aliran ini memiliki arah mengumpul/memusat ke satu titik pusat dengan elevasi terendah,
- Dijumpai pada daerah berbentuk cekungan/basin atau pada daerah bertopografi karst.

g) Pola aliran sungai annular



Gambar 11 P.A Annular

- Pola aliran ini hampir sama dengan pola aliran radial
- Tetapi pada pola aliran annular aliran yang menyebar tadi kemudian masuk ke sungai subsekuen
- Pola ini terbentuk pada daerah dengan struktur kubah/dome

2. Unsur-unsur Geometri Saluran

Unsur-unsur geometri saluran adalah sifat-sifat suatu saluran yang dapat diuraikan seluruhnya berdasarkan geometri penampang dan kedalaman aliran. Unsur-unsur ini sangat penting dan banyak sekali dipakai dalam perhitungan aliran.

Untuk penampang biasa yang sederhana, geometri dapat dinyatakan secara matematik menurut kedalaman aliran dan dimensi lainnya dari penampang tersebut. Namun untuk penampang yang rumit dan penampang saluran alam, belum ada rumus tertentu untuk menyatakan unsur-unsur tersebut, selain kurva-kurva yang menyatakan

hubungan unsur-unsur ini dengan kedalaman aliran yang disiapkan untuk perhitungan hidrolis.

Penampang saluran buatan biasanya direncanakan berdasarkan bentuk geometris yang umum. Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Istilah penampang saluran (*channel section*) adalah tegak lurus terhadap arah aliran, sedangkan penampang vertikal saluran (*vertical channel section*) adalah penampang vertikal melalui titik terbawah atau terendah dari penampang. Oleh sebab itu pada saluran mendatar penampangnya selalu merupakan penampang vertikal.

C. Saluran Terbuka

1. Definisi Saluran Terbuka

Saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Kajian tentang perilaku aliran dikenal dengan mekanika fluida (*fluid mechanics*). Hal ini menyangkut sifat-sifat fluida dan pengaruhnya terhadap pola aliran dan gaya yang akan timbul di antara fluida dan pembatas (dinding). Telah diketahui secara umum bahwa akibat adanya perilaku terhadap aliran untuk memenuhi kebutuhan manusia, menyebabkan terjadinya perubahan alur aliran dalam arah horizontal maupun vertikal.

Berbagai permasalahan teknik yang berhubungan dengan aliran terkadang tidak dapat diselesaikan dengan analitis, maka harus

melakukan pengamatan dengan membuat suatu saluran atau alat peraga, bentuk saluran ini mempunyai bentuk yang sama dengan permasalahan yang diteliti, tetapi ukuran dimensinya lebih kecil dari yang ada di lapangan.

Saluran digolongkan menjadi dua macam yaitu, saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artifical*). Saluran alam merupakan suatu aliran yang meliputi semua alur aliran air secara alamiah di bumi, dimana alirannya mengalir dari hulu ke hilir. Aliran air dibawah tanah dengan permukaan bebas juga dianggap sebagai saluran terbuka alamiah.

Saluran buatan adalah saluran yang dibuat dan direncanakan sesuai dengan konteks pemanfaatnya seperti, saluran irigasi, saluran drainase, saluran pembawa pada pembangkit listrik tenaga air dan saluran untuk industri dan sebagainya termasuk model saluran yang dibuat di laboratorium untuk keperluan penelitian. Sifat-sifat hidrolis saluran semacam ini dapat diatur menurut keinginan atau dirancang untuk memenuhi persyaratan tertentu. Oleh karena itu, penerapan teori hidrolis untuk saluran buatan dapat membuahkan hasil yang cukup sesuai dengan kondisi sesungguhnya, dengan demikian cukup teliti untuk keperluan perancangan praktis.

2. Unsur-unsur Geometri Saluran

Unsur-unsur geometri saluran adalah sifat-sifat suatu saluran yang dapat diuraikan seluruhnya berdasarkan geometri penampang dan

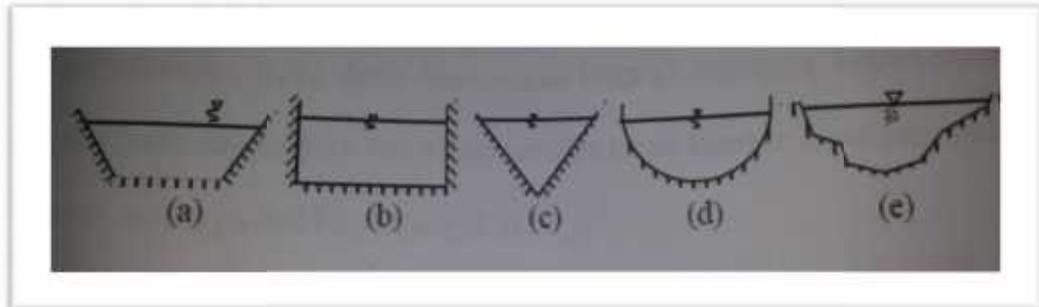
kedalaman aliran. Unsur-unsur ini sangat penting dan banyak sekali dipakai dalam perhitungan aliran.

Untuk penampang biasa yang sederhana, geometri dapat dinyatakan secara matematik menurut kedalaman aliran dan dimensi lainnya dari penampang tersebut. Namun untuk penampang yang rumit dan penampang saluran alam, belum ada rumus tertentu untuk menyatakan unsur-unsur tersebut, selain kurva-kurva yang menyatakan hubungan unsur-unsur ini dengan kedalaman aliran yang disiapkan untuk perhitungan hidrolis.

Penampang saluran buatan biasanya direncanakan berdasarkan bentuk geometris yang umum. Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Istilah penampang saluran (*channel section*) adalah tegak lurus terhadap arah aliran, sedangkan penampang vertikal saluran (*vertical channel section*) adalah penampang vertikal melalui titik terbawah atau terendah dari penampang. Oleh sebab itu pada saluran mendatar penampangnya selalu merupakan penampang vertikal.

3. Bentuk Saluran

Terdapat banyak bentuk penampang saluran terbuka antara lain penampang bentuk trapesium, penampang bentuk persegi panjang, penampang bentuk segitiga, penampang bentuk parit dangkal, dan penampang saluran alam yang tidak beraturan



Gambar 12. Berbagai macam bentuk saluran terbuka (a)Trapesium,(b) Persegi, (c) Segitiga, (d) Setengah lingkaran, (e)Tak beraturan (sumber.majalah ilmiah UKRIM edisi 1/thXII2007)

4. Material Pembentuk Dasar Sungai

Material yang digunakan dalam penelitian adalah material tidak berkoheisi (non cohesive soil). Dalam digunakan tipe gerusan pada air bersih (clear water scour) dan sedimen dasar yang bergerak sesuai dengan aliran yang direncanakan.

Persyaratan utama dalam suatu model dasar yang bergerak yaitu bahan dasar harus dapat bergerak. Untuk menentukan bahan dasar bergerak dan tidak, dapat digunakan rumus Sheilds

(syarat $> \tau_c = 0,03$).

$$\frac{\rho_w U^2}{(\rho_s \rho_w) ds} = \tau_c \quad (1)$$

Dengan Kecepatan geser butiran sebesar :

$$U^* = \sqrt{(g \cdot h \cdot I)}. \quad (2)$$

Keterangan :

d_s = diameter butiran (m)

g = percepatan gravitasi (m/dt)

h = kedalaman aliran

l = kemiringan dasar saluran arah memanjang

ρ_s = rapat massa butiran (kg/m³)

ρ_f = rapat massa fluida (kg/m³)

U^* = kecepatan geser butiran (m/dt)

Apabila kecepatan geser kritis (U_{*c}^*) dari partikel bahan dasar lebih besar dari kecepatan geser butiran (U^*), maka bahan dasar tersebut tidak bergerak. Bila terjadi sebaliknya, kecepatan geser kritis (U_{*c}^*) dari partikel kecil dari pada kel lebih kecepatan geser butiran (U^*), maka dapat dipastikan bahwa bahan dasar tersebut bergerak.

D. Karakteristik Aliran

Kondisi biofisik setiap saluran terbuka memiliki karakter yang berbeda yang mencerminkan tingkat kepekaan dan potensi suatu saluran. Pengumpulan data fisik dengan mencatat beberapa faktor yang dominan pada suatu wilayah akan mencerminkan karakteristik suatu saluran.

Karakteristik aliran adalah gambaran spesifik mengenai aliran yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia.

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran dalam saluran terbuka, dan dapat pula berupa aliran dalam pipa. Kedua jenis aliran

tersebut memiliki prinsip yang sangat berbeda. Aliran melalui saluran terbuka adalah aliran yang memiliki permukaan bebas sehingga memiliki tekanan udara walaupun berada dalam saluran tertutup. Adapun aliran dalam pipa merupakan aliran yang tidak memiliki permukaan bebas, karena aliran air mengisi saluran secara terus menerus, sehingga tidak dipengaruhi oleh tekanan udara dan hanya dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik, Karakteristik aliran terdiri dari :

1. Tipe Aliran

Mengkaji suatu aliran pada saluran terbuka, haruslah dipahami tentang sifat dan jenis aliran itu sendiri. Adapun tipe aliran pada saluran terbuka yakni dipengaruhi oleh adanya suatu permukaan bebas yang berkaitan langsung dengan parameter-parameter aliran seperti kecepatan, kekentalan, gradient serta geometri saluran.

Aliran saluran terbuka dapat digolongkan berdasarkan pada berbagai kriteria, salah satu kriteria utama adalah perubahan kedalaman aliran (h) terhadap waktu (t) dan terhadap tempat (s).

a. Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Waktu yaitu:

1. Aliran Tetap/mantap (*Steady Flow*) yaitu aliran di mana kedalaman air (h) tidak berubah menurut waktu atau dianggap tetap dalam suatu interval waktu, dengan demikian kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu dan segala variabel disepanjang saluran sama.

2. Aliran tidak tetap/Tidak Mantap (*Unsteady Flow*) yaitu apabila kedalaman air (h) berubah menurut waktu demikian pula kecepataannya berubah menurut waktu. Aliran ini terbagi dua yaitu: Aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) dan aliran tidak tetap dan berubah-ubah (*unsteady varied flow*). Aliran ini hampir tidak pernah terjadi.
 3. Aliran Seragam (*uniform flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas, debit, konstan disepanjang saluran sama.
 4. Aliran tidak seragam (*un-uniform Flow*) yaitu aliran berubah-ubah (*varied flow*) disepanjang saluran terhadap kedalaman, luas, dan debit, Yang terdiri dari: Aliran tetap berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan Aliran tetap berubah dengan cepat (*rapidle varied flow*).
- b. Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Tempat yaitu:
1. Aliran seragam (*uniform flow*) yaitu: aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang, dan debit konstan disepanjang saluran sama. Aliran ini terbagi dua yaitu:
 2. Aliran seragam tetap (*steady uniform flow*) yaitu aliran seragam yang tidak berubah terhadap waktu.
 3. Aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) yaitu aliran yang dapat pula berubah terhadap waktu apabila fruktiasi muka air terjadi dari waktu ke waktu namun tetap paralel dengan dasar saluran.
 4. Aliran Tidak seragam (*non uniform flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang, dan debit berubah di

sepanjang saluran. Aliran ini disebut juga aliran berubah-ubah (*varied flow*) yaitu; Aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan Aliran berubah dengan cepat.

2. Sifat-sifat Aliran

Sifat-sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh adanya Pengaruh kekentalan (*viscositas*) dan pengaruh gravitasi dalam perbandingannya dengan gaya-gaya kelembaman (*inersia*) dari aliran. Tegangan permukaan sebenarnya juga dapat berpengaruh pada sifat-sifat aliran, namun dalam kebanyakan aliran tegangan permukaan tidak memegang peranan penting, oleh karena itu tidak diperhitungkan. Selanjutnya apabila perbandingan antara pengaruh gaya-gaya kelembaman dengan gaya-gaya kekentalan yang dipertimbangkan maka aliran dapat dibedakan menjadi: aliran laminar, dan aliran turbulen serta aliran transisi. Parameter yang dipakai sebagai dasar untuk membedakan sifat aliran tersebut adalah suatu parameter tidak berdimensi yang dikenal dengan angka Reynold (Re) yaitu: perbandingan (*ratio*) dari gaya kelembaman (*inersia*) terhadap gaya-gaya kekentalan (*viscositas*) persatuan volume.

- a. Sifat-sifat aliran berdasarkan pengaruh gaya kelembaman dengan gaya kekentalan yaitu:
 1. Aliran Laminar yaitu suatu aliran dimana gaya-gaya kekentalan relatif lebih besar dibanding dengan gaya kelembaman sehingga kekentalan

berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Pada aliran ini partikel cairan seolah-olah bergerak secara teratur menurut lintasan tertentu.

2. Aliran Turbulen yaitu apabila kecepatan aliran lebih besar daripada kekentalan dalam hal ini butiran-butiran air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar, tidak tetap, walaupun butiran bergerak maju dalam kesatuan aliran secara keseluruhan.
3. Aliran Transisi yaitu Aliran peralihan dari laminar ke aliran turbulen dimana kekentalan relatif terhadap kecepatan.

Pengaruh kekentalan terhadap kelembaban dapat dinyatakan dengan bilangan Reynold. Reynold menerapkan analisa dimensi pada hasil percobaannya dan menyimpulkan bahwa perubahan dari aliran laminar ke aliran turbulen terjadi suatu harga yang dikenal dengan angka Reynold (Re). Angka ini menyatakan perbandingan antara gaya-gaya kelembaban dengan gaya-gaya kekentalan yaitu :

$$= \frac{R}{\mu} \quad (3)$$

Dimana :

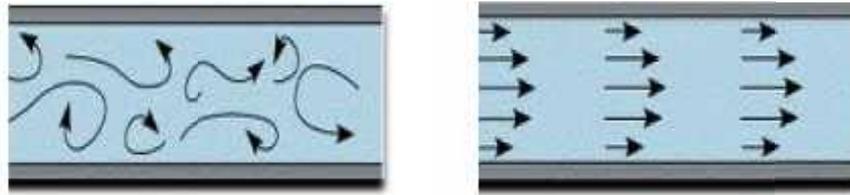
Re = Angka Reynold

= Kecepatan rata-rata aliran (m/det)

R = Jari-jari Hidrolis (m)

μ = kekentalan (*viscositas*) kinematik cairan (m²/det)

Kemudian dari berbagai percobaan disimpulkan bahwa untuk saluran terbuka :



a) Turbulen

b) Laminer

Gambar 13. Aliran turbulen dan Laminer

- 1) Sifat-sifat aliran berdasarkan Perbandingan gaya kelembapan dengan gaya Gravitasi.
 - a) Aliran super kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan gelombangnya.
 - b) Aliran kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya sama besar dengan kecepatan gelombangnya.
 - c) Aliran subkritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih kecil dari pada kecepatan gelombangnya.

Parameter yang membedakan ketiga aliran tersebut adalah parameter yang tidak berdimensi yang dikenal dengan angka Froude (Fr) yaitu angka perbandingan antara gaya kelembapan dan gaya gravitasi, dirumuskan dengan

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad .(4)$$

Dimana:

- Fr = Angka Froude
 = Kecepatan rata-rata aliran (m/det)
 h = Kedalaman aliran (m)
 g = Gaya Gravitasi (m/det²)

Sehingga :

- a) Aliran bersifat Kritis apabila $Fr = 1$, dimana kecepatan aliran sama dengan kecepatan rambat gelombang.
- b) Aliran bersifat subkritis apabila $Fr < 1$, dimana kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan rambat gelombang.
- c) Aliran bersifat superkritis apabila $Fr > 1$, dimana kecepatan aliran lebih besar dari pada kecepatan rambat gelombang.

E. Model Fisik

1. Hukum Dasar Model

Hukum dasar permodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali skala atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan yang

dimaksud adalah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik (Nur Yuwono, 1996).

Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Skala dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model.

Dalam desain suatu bangunan yang besar, khususnya bangunan air, pembuatan model sangat diperlukan, hal ini disebabkan :

1. Dalam perencanaan dibuat asumsi untuk menyederhanakan masalah, tetapi prakteknya tidak semua asumsi sesuai dengan perkiraan awal. Permodelan dapat mengkaji sejauh mana penyimpangan yang terjadi dan solusi alternatif yang dapat diambil.
2. Tidak semua masalah hidraulik dapat dengan mudah dipecahkan secara matematis, sehingga pembuatan model diharapkan dapat mempermudah memecahkan masalah.
3. Pelaksanaan prototipe biasanya mahal, untuk menghindari kesalahan dalam pelaksanaan dan mengkaji perilaku hidraulik sebelum pelaksanaan konstruksi pembuatan model fisik sangat penting, juga guna menghemat biaya.
4. Mencari kemungkinan terjadinya suatu gangguan yang mungkin
5. terjadi dalam pengoperasian prototipe.
6. Mengkoreksi dimensi yang ada, yang tidak mungkin dilakukan dalam perencanaan pekerjaan, sehingga dapat terhindari terjadinya erosi.

Dalam hal perencanaan model hidraulik perlu dipertimbangkan beberapa hal antara lain : (Nur Yuswantoro, 1991),

- a. Hubungan antara skala parameter (hukum skala dan kriteria sebangun)
- b. Tujuan model (untuk menentukan kriteria sebangun yang akan dipakai dalam penentuan skala)
- c. Kriteria/keseksamaan terhadap parameter fenomena yang ada di prototipe (perlu diperhitungkan skala efek)
- d. Fasilitas dilaboratorium (pompa, alat ukur, ruangan dan lainnya)

2. Kesebangunan (similaritas)

Perpindahan besaran yang ada pada prototipe ke dalam besaran yang ada pada model, harus diperhatikan terhadap kesebangunan (similaritas) antara model dengan prototipe.

Adapun beberapa bentuk kesebangunan model fisik meliputi :

- a. Kesebangunan geometrik

Sebangun geometrik adalah suatu kesebangunan dimana bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototipe tetapi ukuran bisa berbeda. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama. Ada dua macam kesebangunan geometrik, yaitu sebangun geometrik sempurna (tanpa distorsi) dan sebangun geometrik dengan distorsi (distorted). Pada sebangun geometrik sempurna skala panjang arah horizontal (skala panjang) dan skala panjang arah vertikal (skala tinggi) adalah sama, sedangkan pada distorted model skala panjang dan skala tinggi tidak sama. Jika memungkinkan skala yang

dibuat tanpa distorsi, namun jika terpaksa, maka skala dapat dibuat distorsi. Sebangun geometrik dapat dinyatakan dalam bentuk

$$n_L = \frac{L}{L}$$

$$n_L = \frac{H}{H} \quad (5)$$

Dengan : n_L = skala panjang
 n_h = skala tinggi
 L_p = ukuran panjang prototipe
 L_m = ukuran panjang model
 H_p = ukuran tinggi pada prototipe
 H_m = ukuran tinggi pada model

b. Kesebangunan kinetik

Kesebangunan kinetik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di dua titik pada model dan prototipe pada arah yang sama adalah sama besar. Pada model tanpa distorsi, perbandingan kecepatan dan percepatan pada semua arah adalah sama, sedangkan pada model dengan distorsi perbandingan yang sama hanya pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau horizontal. Oleh sebab itu, pada permasalahan yang menyangkut tiga dimensi sebaiknya tidak menggunakan distorted model. Skala kecepatan diberi notasi n_u , skala percepatan n_a , dan skala waktu n_T didefinisikan sebagai berikut :

$$n_u = \frac{U}{U} = \frac{n}{n} \quad (6)$$

$$n_a = \frac{a}{a} = \frac{n}{n^2} \quad (7)$$

$$n_Q = \frac{Q}{Q} = \frac{n^3}{n} \quad (8)$$

$$n_T = \frac{T}{T} \quad (9)$$

c. Kesebangunan dinamik

Jika prototipe dan model sebangun geometrik dan kinetik, gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototipe untuk seluruh pengaliran mempunyai perbandingan yang sama dan bekerja pada arah yang sama, maka dikatakan sebagai sebangun dinamik.

Sebangun dinamik dapat di definisikan sebagai berikut :

$$n_F = \frac{F}{F} \quad (10)$$

Dimana : n_F = skala gaya

F_p = ukuran gaya pada prototipe

F_m = ukuran gaya pada model

3. Model Terdistorsi

Untuk pengerjaan yang besar seperti sungai maupun bendungan pembuatan model dapat dilakukan dengan besaran yang tidak benar dengan prototipenya. Hal ini agar ruang dan biaya yang diinginkan menjadi lebih kecil. Tetapi dapat menyebabkan diperolehnya kedalaman air hanya beberapa milimeter saja, demikian juga untuk kekasaran permukaan sehingga dapat menyebabkan kondisi terbuka tidak akan

tercapai. Selain itu dapat menyulitkan dalam pencatatan hasil percobaan karena besarnya terlalu kecil. Untuk itu dengan menggunakan skala tradisional, yaitu model dimana skala dimensi vertikal tidak sama dengan skala dimensi horizontal.

Dalam pembuatan model tradisional dikenal apa yang dinamakan faktor distorsi "n" yang menyatakan hubungan antara skala horizontal terhadap vertikal.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di labotatorium Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar dengan rencana waktu penelitian selama 2 bulan yaitu dimulai bulan Juli sampai dengan bulan Agustus, dimana pada bulan pertama yakni diawal bulan Mei merupakan kajian literatur, pada bulan kedua yakni bulan Junii adalah pembuatan saluran, pengambilan data pada tahap pegelolaan data.

B. Jenis Penelitian dan Sumber Data

Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental, di mana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut, serta adanya kontrol, dengan tujuan untuk menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyelidiki kontrol untuk pembanding.

Pada penelitian ini akan menggunakan dua sumber data, yaitu:

- 1) Data primer, yaitu data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.

- 2) Data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada.
- 3) Berbagai bentuk referensi yang berkaitan dengan penelitian pengaruh perubahan pola aliran terhadap sedimen melayang.

C. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun spesifikasi jenis peralatan dan bahan yang dipergunakan dalam percobaan dan alat peraga penelitian antara lain :

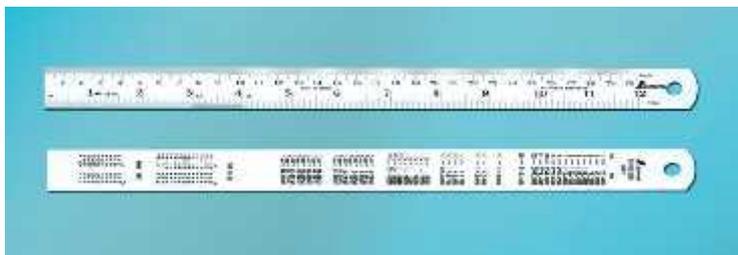
1. Alat

- a. Electro magnetic current meter main unit model VM2201



Gambar. Alat electro magnetic current meter

- b. Mistar taraf untuk mengukur jarak pengambilan titik pengamatan



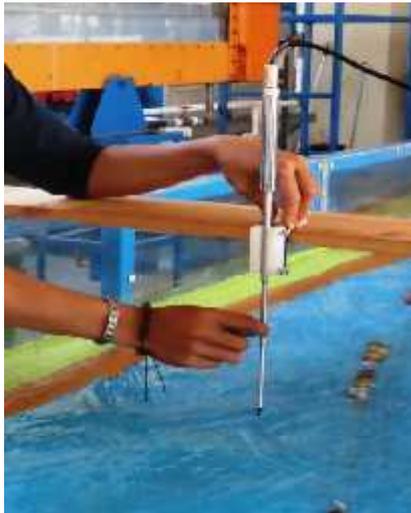
Gambar. mistar ukur

c. Komputer



Gambar. Komputer

d. Detector model



Gambar. Detector model

- e. Stopwatch untuk mengukur waktu yang digunakan dalam pengukuran debit aliran.



Gambar. Stopwatch

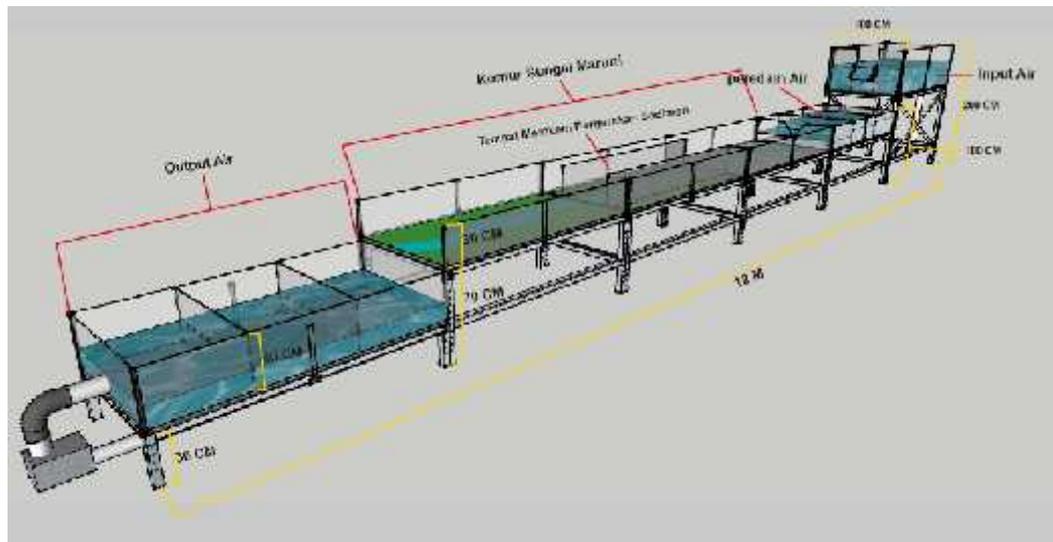
- f. Kamera digital digunakan untuk merekam (dalam bentuk foto) momen-momen yang penting dalam keseluruhan kegiatan penelitian khususnya tahap-tahap dalam proses penelitian



Gambar. Kamera

2. Bahan

- a. Flume, dengan panjang saluran 10 m, lebar 100 cm, tinggi 30 cm, yang telah dibentuk kontur dasar sungai didalamnya.



Gambar 8. Flume

- b. Bak penampungan air dan bak sirkulasi
- c. Pintu air (pengatur debit air).
- d. Pintu sorong untuk mengalirkan air.
- e. Model saluran terbuka dengan lebar saluran 100 cm, tinggi saluran 30 cm, panjang saluran 10 m.
- f. Air.
- g. Sedimen

D. Variabel yang digunakan

Sesuai tujuan penelitian ini pengujian model hidraulik dilaksanakan pada model saluran terbuka (flume), dengan kajian pada bagian hilir sungai yang mengacu pada rancangan yang telah disetujui untuk mendapatkan data sebagai bahan kajian.

Variabel yang akan digunakan adalah :

1. Variabel bebas :

- a) Tinggi muka air (h)
 - b) Kecepatan aliran (v)
 - c) Waktu (t)
2. Variabel tidak bebas:
- a) Debit (Q)
 - b) Froude (fr)
 - c) Reynold (re)

E. Langkah-langkah Penelitian

- 1) Membuat model saluran dengan lebar dasar saluran (B) :30 cm, Tinggi (H) :40 cm, kemiringansaluran 1 : 0,5 , dan panjang saluran : 900 cm.
- 2) Membersihkan dan mengeringkan saluran.
- 3) Meratakan pasir dalam saluran dengan menggunakan pasir non kohesif (granuler) diatas saluran dengan tebal : 10 cm.
- 4) Kalibrasi semua peralatan yang akandigunakan khususnya alat ukur kecepatan.
- 5) Melakukan pengaliran awal untuk mengetahui layak atau tidaknya saluran yang akan digunakan dalam pengaliran (Running kosong).
- 6) Mengalirkan air untuk Q_1 dengan membuka pintu air setinggi 1 cm.
- 7) Dilakukan pengambilan data kecepatan aliran (V) dan Tinggi muka air (h) padatitik yang telah ditentukan pada saat waktu $t_1 = 8 \text{ menit} = 480$ detik, $t_2 = 840$ detik dan $t_3 = 1200$ detik

- 8) Mematikan pompa pada saat waktu 1200 detik, lalu air dikeluarkan kemudian mengukur tinggi gerusan dan pengendapan yang terjadi pada beberapa potongan dan pias yang telah ditentukan.
- 9) Ulangi langkah kedua, ketiga, keenam, ketujuh dan kedelapan sebanyak 2 kali untuk Q_2 dengan bukaan pintu 0,015 m dan Q_3 dengan bukaan pintu 0,02 m.

F. Pencatatan Data

Hal yang penting dalam setiap penelitian adalah pencatatan data pada dasarnya yang diambil adalah yang akan difungsikan sebagai parameter dalam analisa.

G. Analisa Data

Data dari lapangan/laboratorium diolah sebagai bahan analisa terhadap hasil studi ini, sesuai dengan tujuan dan sasaran penelitian. Data yang diolah adalah data yang relevan, yang dapat mendukung dalam menganalisa hasil penelitian.

Analisa data yang menyangkut hubungan antara variabel-variabel dalam penelitian dilakukan dengan tahap sebagai berikut :

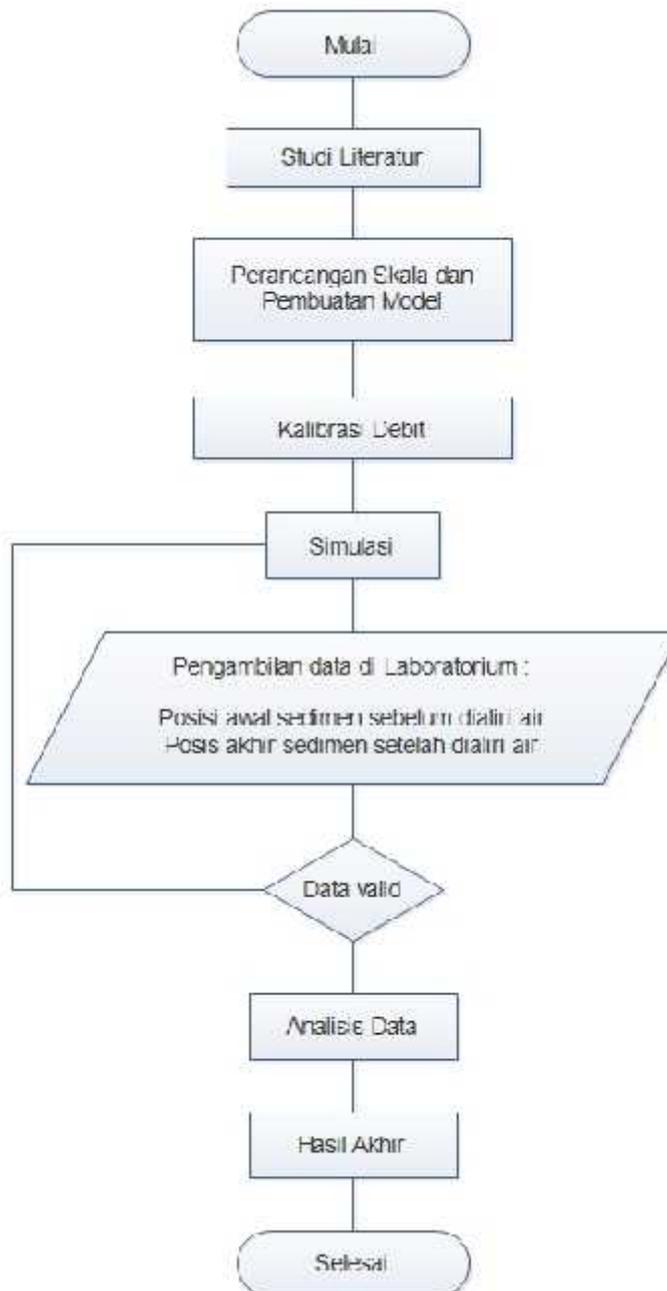
- 1) Perhitungan debit (Q)

$$Q = C_d \cdot \frac{B}{1} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \text{tg } \theta / 2 \cdot H^{5/2}$$

- 2) Perhitungan sifat aliran dengan menggunakan rumus F_R

$$F_R = \frac{u}{\sqrt{g \cdot h}}$$

H. low Chart Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan

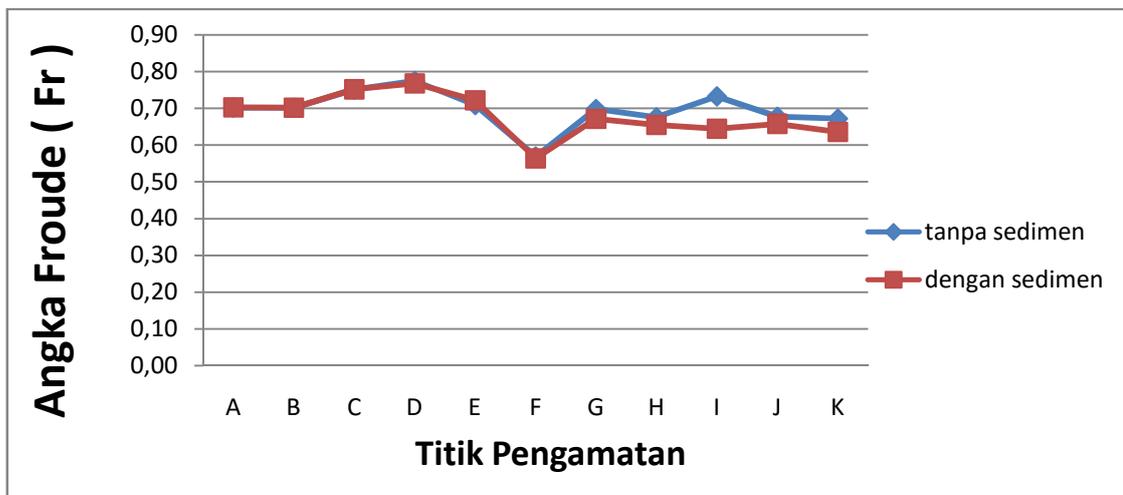
1. Perhitungan Bilangan Froude

Untuk mengetahui dan menetapkan jenis aliran yang terjadi dalam proses pengaliran dalam saluran dapat dijabarkan berdasarkan dengan bilangan Froude (Fr), sebagai berikut :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan angka froude (Fr)

No Titik	Debit Q ₁			
	V ₁	Fr ₁	V ₂	Fr ₂
	(m/det)		(m/det)	
A	0.269	0.70	0.269	0.70
B	0.269	0.70	0.269	0.70
C	0.288	0.75	0.288	0.75
D	0.297	0.77	0.294	0.77
E	0.272	0.71	0.277	0.72
F	0.218	0.57	0.216	0.56
G	0.268	0.70	0.257	0.67
H	0.259	0.68	0.251	0.65
I	0.281	0.73	0.247	0.64
J	0.260	0.68	0.252	0.66
K	0.258	0.67	0.244	0.64

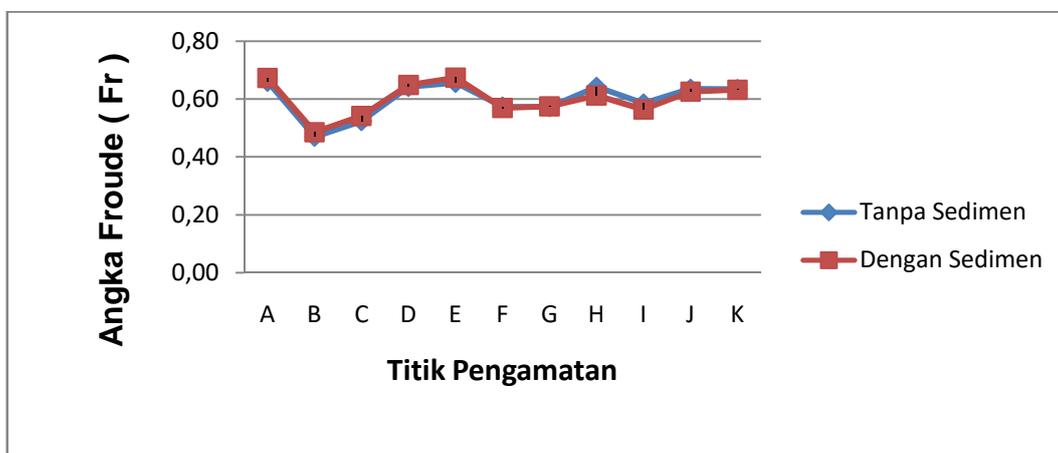


Gambar 16. Hubungan antara kecepatan (m/det) dan Bilangan Froude untuk variasi debit normal dalam keadaan tanpa sedimen dan menggunakan sedimen

Dari hasil analisa untuk bilangan Froude pada debit normal dapat di ketahui bahwa kecepatan aliran tanpa sedimen berbanding lurus dengan bilangan Froude, semakin cepat kecepatan alirannya maka semakin besar pula bilangan Froudenya hal ini terlihat pada grafik diatas. dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,77 terdapat pada titik D kecepatan (V) = 0,297 m/detik

Tabel 3. Hasil Perhitungan angka froude (Fr)

No Titik	Q2			
	V ₁	Fr ₁	V ₂	Fr ₂
	(m/det)		(m/det)	
A	0.292	0.66	0.298	0.67
B	0.208	0.47	0.215	0.49
C	0.232	0.52	0.240	0.54
D	0.284	0.64	0.288	0.65
E	0.291	0.66	0.299	0.67
F	0.254	0.57	0.252	0.57
G	0.254	0.57	0.255	0.57
H	0.284	0.64	0.271	0.61
I	0.259	0.58	0.250	0.56
J	0.281	0.64	0.277	0.63
K	0.281	0.63	0.280	0.63



Gambar 17. Hubungan antara kecepatan (m/det) dan Bilangan Froude untuk variasi debit banjir dalam keadaan tanpa sedimen dan menggunakan sedimen

Tabel 4. Perhitungan Bilangan Reynold (Re) Q_1

Titik	Q	H	V	Fr	Re	Keterangan	
	m ³ /det	m	m/det	-	-		
A	0.0850	0.01	0.27	0.70	14.49	subkritis	laminar
B		0.01	0.27	0.70	14.48	subkritis	laminar
C		0.01	0.29	0.75	15.51	subkritis	laminar
D		0.01	0.30	0.77	15.99	subkritis	laminar
E		0.01	0.22	0.71	11.74	subkritis	laminar
F		0.01	0.27	0.57	14.41	subkritis	laminar
G		0.01	0.26	0.70	13.94	subkritis	laminar
H		0.01	0.28	0.68	15.12	subkritis	laminar
I		0.01	0.26	0.73	13.99	subkritis	laminar
J		0.01	0.27	0.68	14.43	subkritis	laminar
K		0.01	0.27	0.35	14.50	subkritis	laminar
A	0.0850	0.01	0.27	0.66	16.04	subkritis	Laminar
B		0.01	0.29	0.47	11.58	subkritis	Laminar
C		0.01	0.29	0.52	12.91	subkritis	Laminar
D		0.01	0.22	0.66	15.48	subkritis	Laminar
E		0.01	0.26	0.57	16.07	subkritis	Laminar
F		0.01	0.25	0.57	13.58	subkritis	Laminar
G		0.01	0.25	0.67	13.71	subkritis	Laminar
H		0.01	0.25	0.64	14.59	subkritis	Laminar
I		0.01	0.26	0.58	13.44	subkritis	Laminar
J		0.01	0.00	0.64	14.92	subkritis	Laminar
K		0.01	0.0	0.63	14.23	subkritis	laminar

Sumber:Hasil Perhitungan

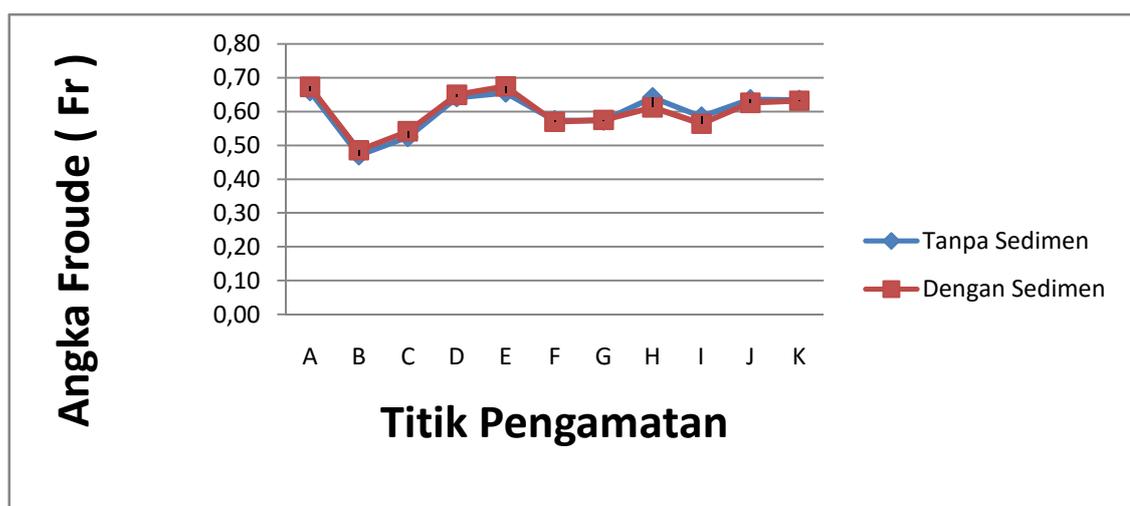
Tabel 5. Perhitungan Bilangan Reynold (Re) Pada Debit Banjir Q_2

titik	Q	H	V	Fr	Re	Keterangan	
	m ³ /det	m	m/det		-		
A	2.691	0.02	0.29	0.70	15.72	subkritis	laminar
B		0.02	0.21	0.70	11.20	subkritis	laminar
C		0.02	0.23	0.75	12.48	subkritis	laminar
D		0.02	0.28	0.77	15.30	subkritis	laminar
E		0.02	0.29	0.72	15.64	subkritis	Laminar
F		0.02	0.25	0.56	13.67	subkritis	Laminar
G		0.02	0.25	0.67	13.65	subkritis	Laminar
H		0.02	0.28	0.65	15.29	subkritis	Laminar
I		0.02	0.26	0.64	13.93	subkritis	Laminar
J		0.02	0.28	0.66	15.15	subkritis	Laminar
K		0.02	0.28	0.64	14.20	subkritis	Laminar
A	2.691	0.02	0.30	0.67	16.04	subkritis	Laminar
B		0.02	0.22	0.49	11.58	subkritis	Laminar
C		0.02	0.24	0.54	12.91	subkritis	Laminar
D		0.02	0.29	0.65	15.48	subkritis	Laminar
E		0.02	0.30	0.67	16.07	subkritis	Laminar
F		0.02	0.24	0.57	13.58	subkritis	Laminar
G		0.02	0.25	0.57	13.71	subkritis	Laminar
H		0.02	0.27	0.61	14.59	subkritis	Laminar
I		0.02	0.25	0.56	13.44	subkritis	Laminar
J		0.02	0.28	0.63	14.92	subkritis	Laminar
K		0.02	0.28	0.63	14.23	subkritis	Laminar

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. Hasil Perhitungan angka froude (Fr)

No Titik	Q_2			
	V_1	Fr_1	V_2	Fr_2
	(m/det)		(m/det)	
A	0.292	0.66	0.298	0.67
B	0.208	0.47	0.215	0.49
C	0.232	0.52	0.240	0.54
D	0.284	0.64	0.288	0.65
E	0.291	0.66	0.299	0.67
F	0.254	0.57	0.252	0.57
G	0.254	0.57	0.255	0.57
H	0.284	0.64	0.271	0.61
I	0.259	0.58	0.250	0.56
J	0.281	0.64	0.277	0.63
K	0.281	0.63	0.280	0.63



Gambar 18. Hubungan antara kecepatan (m/det) dan Bilangan Froude pada debit banjir

Dari hasil analisa untuk bilangan Reynold dapat diketahui bahwa kecepatan aliran tanpa adanya sedimen, berbanding lurus dengan menggunakan sedimen, hanya pada pengamatan pada titik H aliran dengan menggunakan sedimen, cenderung lebih kecil. dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,67 terdapat pada titik E kecepatan (V) = 0,298 m/detik

2. Rekapitulasi Bilangan Froude dan Bilangan Reynold

Tabel 7. Rekapitulasi Bilangan Froude dan Bilangan Reynold (Re) pada debit Normal.

Titik	Q	H	V	Fr	Re	Keterangan	
	m ³ /det	m	m/det	-	-		
A	0.0850	0.01	0.27	0.70	14.49	subkritis	Laminar
B		0.01	0.27	0.70	14.48	subkritis	Laminar
C		0.01	0.29	0.75	15.51	subkritis	Laminar
D		0.01	0.30	0.77	15.99	subkritis	Laminar
E		0.01	0.22	0.71	11.74	subkritis	Laminar
F		0.01	0.27	0.57	14.41	subkritis	Laminar
G		0.01	0.26	0.70	13.94	subkritis	Laminar
H		0.01	0.28	0.68	15.12	subkritis	Laminar
I		0.01	0.26	0.73	13.99	subkritis	Laminar
J		0.01	0.27	0.68	14.43	subkritis	Laminar
K		0.01	0.27	0.35	14.50	subkritis	Laminar
A	0.0850	0.01	0.27	0.66	16.04	subkritis	Laminar
B		0.01	0.29	0.47	11.58	subkritis	Laminar
C		0.01	0.29	0.52	12.91	subkritis	Laminar
D		0.01	0.22	0.66	15.48	subkritis	Laminar
E		0.01	0.26	0.57	16.07	subkritis	Laminar
F		0.01	0.25	0.57	13.58	subkritis	Laminar
G		0.01	0.25	0.67	13.71	subkritis	Laminar
H		0.01	0.25	0.64	14.59	subkritis	Laminar
I		0.01	0.26	0.58	13.44	subkritis	Laminar
J		0.01	0.00	0.64	14.92	subkritis	Laminar
K		0.01	0.0	0.63	14.23	subkritis	Laminar

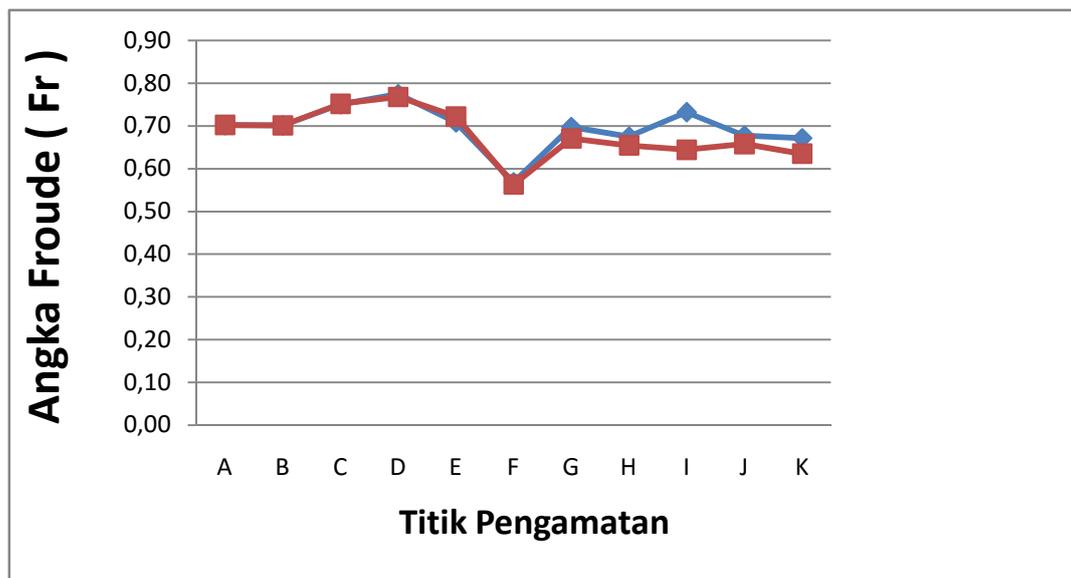
Sumber: HasilPerhitungan

Lampiran 5. Tabel Perhitungan bilangan Reynold pada debit normal

pengamatan	Debit	No	Kec.Aliran	Tinggi Muka Air	Luas Penampang	Luas Keliling Basah	Jari-jari hidro	Reynold
			m/det	m	m ²	m	m	-
	m ³ /det	Titik	m/det	m	A	(b+2)*h	A/P	$u*L/v$
tanpa sedimen	0.085	A	0.27	0.01	0.001	0.029	0.043	14.5
		B	0.27	0.01	0.001	0.029	0.043	14.5
		C	0.29	0.01	0.001	0.029	0.043	15.5
		D	0.30	0.01	0.001	0.029	0.043	16.0
	E	0.27	0.01	0.001	0.029	0.043	14.6	
	F	0.22	0.01	0.001	0.029	0.043	11.7	
	G	0.27	0.01	0.001	0.029	0.043	14.4	
	I	0.26	0.01	0.001	0.029	0.043	13.9	
	J	0.28	0.01	0.001	0.029	0.043	15.1	
	K	0.26	0.01	0.001	0.029	0.043	14.0	
	rata rata			0.27	0.01	0.001	0.029	0.043
ada sedimen	0.085	A	0.27	0.01	0.001	0.029	0.043	14.5
		B	0.27	0.01	0.001	0.029	0.043	14.5
		C	0.29	0.01	0.001	0.029	0.043	15.5
		D	0.29	0.01	0.001	0.029	0.043	15.8
	E	0.28	0.01	0.001	0.029	0.043	14.9	
	F	0.22	0.01	0.001	0.029	0.043	11.6	
	G	0.26	0.01	0.001	0.029	0.043	13.8	
	I	0.25	0.01	0.001	0.029	0.043	13.5	
	J	0.25	0.01	0.001	0.029	0.043	13.3	
	K	0.25	0.01	0.001	0.029	0.043	13.6	
	rata rata			0.26	0.01	0.001	0.029	0.043

Lampiran 5. Tabel Perhitungan bilangan Reynold

pengamatan	Debit	No	Kec.Aliran	Tinggi Muka Air	Luas Penampang	Luas Keliling Basah	Jari-jari hidro	Reynold
	m ³ /det		m/det	m	m ²	m	m	-
		Titik			A	(b+2)*h	A/P	u*L/v
tanpa sedimen	2.691	A	0.29	0.02	0.002	0.044	0.043	15.7
		B	0.21	0.02	0.002	0.044	0.043	11.2
		C	0.23	0.02	0.002	0.044	0.043	12.5
		D	0.28	0.02	0.002	0.044	0.043	15.3
	E	0.29	0.02	0.002	0.044	0.043	15.6	
		F	0.25	0.02	0.002	0.044	0.043	13.7
		G	0.25	0.02	0.002	0.044	0.043	13.7
		I	0.28	0.02	0.002	0.044	0.043	15.3
		J	0.26	0.02	0.002	0.044	0.043	13.9
		K	0.28	0.02	0.002	0.044	0.043	15.1
		rata rata			0.26	0.02	0.002	0.044
ada sedimen	2.691	A	0.30	0.02	0.002	0.044	0.043	16.0
		B	0.22	0.02	0.002	0.044	0.043	11.6
		C	0.24	0.02	0.002	0.044	0.043	12.9
		D	0.29	0.02	0.002	0.044	0.043	15.5
	E	0.30	0.02	0.002	0.044	0.043	16.1	
		F	0.25	0.02	0.002	0.044	0.043	13.6
		G	0.25	0.02	0.002	0.044	0.043	13.7
		I	0.27	0.02	0.002	0.044	0.043	14.6
		J	0.25	0.02	0.002	0.044	0.043	13.4
		K	0.28	0.02	0.002	0.044	0.043	14.9
		rata rata			0.26	0.02	0.002	0.044



Gambar 19. Grafik perbandingan kecepatan aliran dengan sedimen pada debit normal dan debit banjir

Dari hasil pengamatan untuk Q2 kecepatan aliran pada titik pengamatan B dan C cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan C kecepatan aliran bertambah besar. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q2 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,77 terdapat pada titik D kecepatan (V) = 0,28 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,02 m

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil analisa debit normal Q1 dapat di ketahui bahwa kecepatan aliran tanpa sedimen berbanding lurus dengan bilangan Froude, semakin cepat kecepatan alirannya maka semakin besar pula bilangan Froudenya, sedangkan analisa Q1 normal dengan menggunakan sedimen, cenderung berbanding terbalik dengan tanpa adanya sedimen, hal ini dipengaruhi dengan adanya sedimen di berbagai titik pengamatan.
2. Dari hasil pengamatan untuk Q2 kecepatan aliran pada titik pengamatan B dan C cenderung kecil sehingga aliran yang terjadi adalah aliran subkritis setelah melewati titik pengamatan C kecepatan aliran bertambah besar. Dan hasil analisis untuk angka froude (Fr) pada pengamatan untuk Q2 dapat diketahui bahwa angka froude (Fr) yang paling besar yaitu 0,77 terdapat pada titik D kecepatan (V) = 0,28 m/detik dan tinggi muka air (H) = 0,02 m

B. Saran

Kami sadar penelitian ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kami menyarankan penelitian ini masih perlu dikaji lebih banyak lagi seperti :

1. Perlu adanya penelitian mengenai dampak dari pengaruh sedimen dalam waktu yang berkepanjangan untuk daerah aliran sungai

2. Perlu adanya pengamatan serta pengukuran debit, pengukuran sedimentasi dan kecepatan aliran yang berkelanjutan, untuk mendapatkan data-data yang akurat.

VM	VM2201	REALTIME		VM	VM2201	REALTIME	
Date	Start Time	End Time	Date	Start Time	End Time	Sampling rate(Hz)	
#####	14:36:21	14:37:02	#####	14:36:21	14:37:02	10	
X(cm/s)	Y(cm/s)		X(cm/s)	Y(cm/s)		Hasil	
18.1	-24		30.06011	-17.1	-24		29.4688
18.1	-24		30.06011	-17	-24		29.41088
17.9	-0.2		17.90112	-17	-24		29.41088
17.9	-0.2		17.90112	0.9	-24		24.01687
17.5	23.5		29.30017	0.9	-24		24.01687
17.5	23.5		29.30017	18.5	-24		30.30264
17.2	23.5		29.12198	18.5	-24		30.30264
17.2	23.5		29.12198	17.9	-24		29.94011
17	23.5		29.00431	17.9	-24		29.94011
17	23.5		29.00431	17.6	-24		29.76172
-0.4	23.5		23.5034	17.6	-24		29.76172
-0.4	23.5		23.5034	17.3	-0.2		17.30116
-17.5	23.5		29.30017	17.3	-0.2		17.30116
-17.5	23.5		29.30017	17	23.6		29.08539
-17.3	-0.2		17.30116	17	23.6		29.08539
-17.3	-0.2		17.30116	16.7	23.5		28.8295
-17.2	-24		29.52694	16.7	23.5		28.8295
-17.2	-24		29.52694	-0.6	23.5		23.50766
-17.1	-24		29.4688	-0.6	23.5		23.50766
-17.1	-24		29.4688	-17.6	23.5		29.36001
-17.1	-24		29.4688	-17.6	23.5		29.36001
-17.1	-24		29.4688	-17.2	23.5		29.12198
0.8	-24		24.01333	-17.2	23.5		29.12198
0.8	-24		24.01333	-17.2	23.5		29.12198
18.4	-24		30.24169	-17.2	23.5		29.12198
18.4	-24		30.24169	-17.1	-0.2		17.10117
17.8	-24		29.88043	-17.1	-0.2		17.10117
17.8	-24		29.88043	-17	-24		29.41088
17.4	-0.2		17.40115	-17	-24		29.41088
17.4	-0.2		17.40115	-17	-24		29.41088
17.1	23.6		29.14395	-17	-24		29.41088
17.1	23.6		29.14395	0.8	-24		24.01333
16.9	23.6		29.02706	0.8	-24		24.01333
16.9	23.6		29.02706	18.4	-24		30.24169
7.4	23.5		24.63757	18.4	-24		30.24169
7.4	23.5		24.63757	17.8	-24		29.88043
-9.7	23.5		25.42322	17.8	-24		29.88043
-9.7	23.5		25.42322	17.4	-24		29.64389
-17.3	-0.2		17.30116	17.4	-24		29.64389
-17.3	-0.2		17.30116	17.2	-18.6		25.33377
-17.2	-24		29.52694	17.2	-18.6		25.33377
-17.2	-24		29.52694	16.9	5.1		17.65276
-17.2	-24		29.52694	16.9	5.1		17.65276
-17.2	-24		29.52694	16.6	23.5		28.77169
-17.1	-24		29.4688	16.6	23.5		28.77169

16.4	23.5		28.65676	4.1	-24		24.34769
16.4	23.5		28.65676	4.1	-24		24.34769
-0.7	23.5		23.51042	18.3	-19.6		26.81511
-0.7	23.5		23.51042	18.3	-19.6		26.81511
-17.5	23.5		29.30017	17.8	4.2		18.28879
-17.5	23.5		29.30017	17.8	4.2		18.28879
-17.2	23.5		29.12198	17.4	23.6		29.32098
-17.2	23.5		29.12198	17.4	23.6		29.32098
-17.2	23.5		29.12198	17.2	23.5		29.12198
-17.2	23.5		29.12198	17.2	23.5		29.12198
-17.2	-0.2		17.20116	17	23.5		29.00431
-17.2	-0.2		17.20116	17	23.5		29.00431
-17.1	-24		29.4688	16.7	23.5		28.8295
-17.1	-24		29.4688	16.7	23.5		28.8295
-17.1	-24		29.4688	16.5	23.5		28.71411
-17.1	-24		29.4688	16.5	23.5		28.71411
-4.2	-24		24.36473	10.2	23.5		25.61816
-4.2	-24		24.36473	10.2	23.5		25.61816
13.5	-24		27.53634	-6.9	23.5		24.49204
13.5	-24		27.53634	-6.9	23.5		24.49204
18	-24		30	-17.6	23.5		29.36001
18	-24		30	-17.6	23.5		29.36001
17.6	-19.5		26.26804	-17.4	23.5		29.24055
17.6	-19.5		26.26804	-17.4	23.5		29.24055
17.3	4.2		17.80253	-17.3	23.5		29.18116
17.3	4.2		17.80253	-17.3	23.5		29.18116
17	23.6		29.08539	-17.2	-0.2		17.20116
17	23.6		29.08539	-17.2	-0.2		17.20116
16.7	23.6		28.91107	-17.2	-24		29.52694
16.7	23.6		28.91107	-17.2	-24		29.52694
16.6	23.5		28.77169	-17.1	-24		29.4688
16.6	23.5		28.77169	-17.1	-24		29.4688
8	23.5		24.82438	-17	-24		29.41088
8	23.5		24.82438	-17	-24		29.41088
-9	23.5		25.16446	1.1	-24		24.0252
-9	23.5		25.16446	1.1	-24		24.0252
-17.5	23.5		29.30017	18.7	-24		30.42515
-17.5	23.5		29.30017	18.7	-24		30.42515
-17.3	-0.2		17.30116	18	-24		30
-17.3	-0.2		17.30116	18	-24		30
-17.2	-24		29.52694	17.6	-24		29.76172
-17.2	-24		29.52694	17.6	-24		29.76172
-17.1	-24		29.4688	17.3	-5.9		18.2784
-17.1	-24		29.4688	17.3	-5.9		18.2784
-17.1	-24		29.4688	17.1	17.9		24.7552
-17.1	-24		29.4688	17.1	17.9		24.7552
-17	-24		29.41088	16.9	23.6		29.02706
-17	-24		29.41088	16.9	23.6		29.02706
-13.7	-24		27.63494	16.6	23.6		28.85342
-13.7	-24		27.63494	16.6	23.6		28.85342

6.7	23.5		24.43645	18.2	-24		30.12042
6.7	23.5		24.43645	18.2	-24		30.12042
-10.4	23.5		25.69844	17.7	-24		29.82097
-10.4	23.5		25.69844	17.7	-24		29.82097
-17.4	23.5		29.24055	17.4	-24		29.64389
-17.4	23.5		29.24055	17.4	-24		29.64389
-17.3	23.5		29.18116	17.1	-0.2		17.10117
-17.3	23.5		29.18116	17.1	-0.2		17.10117
-17.2	18.5		25.26044	16.9	23.5		28.94581
-17.2	18.5		25.26044	16.9	23.5		28.94581
-17.2	-5.2		17.96886	16.6	23.5		28.77169
-17.2	-5.2		17.96886	16.6	23.5		28.77169
-17.1	-24		29.46888	8.8	23.5		25.09362
-17.1	-24		29.46888	8.8	23.5		25.09362
-17.1	-24		29.46888	-8.2	23.5		24.88956
-17.1	-24		29.46888	-8.2	23.5		24.88956
-8	-24		25.29822	-17.4	23.5		29.24055
-8	-24		25.29822	-17.4	23.5		29.24055
9.8	-24		25.92373	-17.2	23.5		29.12198
9.8	-24		25.92373	-17.2	23.5		29.12198
18.2	-24		30.12042	-17.2	-0.2		17.20116
18.2	-24		30.12042	-17.2	-0.2		17.20116
17.7	-24		29.82097	-17.2	-24		29.52694
17.7	-24		29.82097	-17.2	-24		29.52694
17.4	-0.9		17.42326	-17.1	-24		29.46888
17.4	-0.9		17.42326	-17.1	-24		29.46888
17.1	22.9		28.58006	-11.9	-24		26.78824
17.1	22.9		28.58006	-11.9	-24		26.78824
16.9	23.6		29.02706	5.8	-24		24.69089
16.9	23.6		29.02706	5.8	-24		24.69089
16.6	23.5		28.77169	18.1	-24		30.06011
16.6	23.5		28.77169	18.1	-24		30.06011
8.4	23.5		24.95616	17.7	-24		29.82097
8.4	23.5		24.95616	17.7	-24		29.82097
-8.6	23.5		25.02419	17.3	-0.2		17.30116
-8.6	23.5		25.02419	17.3	-0.2		17.30116
-17.4	23.5		29.24055	17	23.5		29.00431
-17.4	23.5		29.24055	17	23.5		29.00431
-17.3	23.5		29.18116	16.7	23.5		28.8295
-17.3	23.5		29.18116	16.7	23.5		28.8295
-17.2	-0.2		17.20116	16.6	23.5		28.77169
-17.2	-0.2		17.20116	16.6	23.5		28.77169
-17.2	-24		29.52694	-0.6	23.5		23.50766
-17.2	-24		29.52694	-0.6	23.5		23.50766
-17.1	-24		29.46888	-17.4	23.5		29.24055
-17.1	-24		29.46888	-17.4	23.5		29.24055
-16.5	-24		29.12473	-17.2	23.5		29.12198
-16.5	-24		29.12473	-17.2	23.5		29.12198
1.4	-24		24.0408	-17.2	-0.3		17.20262
1.4	-24		24.0408	-17.2	-0.3		17.20262

-17.1	-24		29.4688	8.2	23.5		24.88956
-17.1	-24		29.4688	8.2	23.5		24.88956
-17	-24		29.41088	-8.8	23.5		25.09362
-17	-24		29.41088	-8.8	23.5		25.09362
-14	-24		27.78489	-17.4	23.5		29.24055
-14	-24		27.78489	-17.4	23.5		29.24055
3.8	-24		24.29897	-17.2	23.5		29.12198
3.8	-24		24.29897	-17.2	23.5		29.12198
18.2	-24		30.12042	-17.2	23.5		29.12198
18.2	-24		30.12042	-17.2	23.5		29.12198
17.6	-24		29.76172	-17.1	-0.2		17.10117
17.6	-24		29.76172	-17.1	-0.2		17.10117
17.3	-0.2		17.30116	-17	-24		29.41088
17.3	-0.2		17.30116	-17	-24		29.41088
17	23.5		29.00431	-17	-24		29.41088
17	23.5		29.00431	-17	-24		29.41088
16.8	23.5		28.88754	-17	-24		29.41088
16.8	23.5		28.88754	-17	-24		29.41088
16.6	23.5		28.77169	-2	-24		24.08319
16.6	23.5		28.77169	-2	-24		24.08319
-1	23.5		23.52127	15.5	-24		28.57009
-1	23.5		23.52127	15.5	-24		28.57009
-17.9	23.5		29.54082	18	-24		30
-17.9	23.5		29.54082	18	-24		30
-17.3	23.5		29.18116	17.7	-0.2		17.70113
-17.3	23.5		29.18116	17.7	-0.2		17.70113
-17.2	23.5		29.12198	17.4	-0.2		17.40115
-17.2	23.5		29.12198	17.4	-0.2		17.40115
-17.1	-0.2		17.10117	17.1	-0.2		17.10117
-17.1	-0.2		17.10117	17.1	-0.2		17.10117
-17.1	-24		29.4688	16.8	23.6		28.96895
-17.1	-24		29.4688	16.8	23.6		28.96895
-17	-24		29.41088	16.6	23.5		28.77169
-17	-24		29.41088	16.6	23.5		28.77169
-13.2	-24		27.39051	16.4	23.5		28.65676
-13.2	-24		27.39051	16.4	23.5		28.65676
4.6	-24		24.43686	16.3	23.6		28.68188
4.6	-24		24.43686	16.3	23.6		28.68188
18.2	-24		30.12042	16.2	23.5		28.54277
18.2	-24		30.12042	16.2	23.5		28.54277
17.7	-24		29.82097	-1.4	23.5		23.54167
17.7	-24		29.82097	-1.4	23.5		23.54167
17.4	-6.4		18.53969	-18.4	23.5		29.84644
17.4	-6.4		18.53969	-18.4	23.5		29.84644
17	17.4		24.32612	-17.7	23.5		29.42006
17	17.4		24.32612	-17.7	23.5		29.42006
16.8	23.5		28.88754	-17.5	23.5		29.30017
16.8	23.5		28.88754	-17.5	23.5		29.30017
16.6	23.6		28.85342	-17.4	23.5		29.24055
16.6	23.6		28.85342	-17.4	23.5		29.24055

-17.4	-0.2		17.40115	-17.2	-24		29.52694
-17.4	-0.2		17.40115	-17.2	-24		29.52694
-17.3	-24		29.5853	-17.2	-24		29.52694
-17.3	-24		29.5853	-17.2	-24		29.52694
-17.3	-24		29.5853	-17.1	-24		29.4688
-17.3	-24		29.5853	-17.1	-24		29.4688
-17.2	-24		29.52694	-17.1	-24		29.4688
-17.2	-24		29.52694	-17.1	-24		29.4688
-17.2	-24		29.52694	0.8	-24		24.01333
-17.2	-24		29.52694	0.8	-24		24.01333
-11	-24		26.40076	18.6	-24		30.36379
-11	-24		26.40076	18.6	-24		30.36379
6.9	-24		24.97218	18.2	-24		30.12042
6.9	-24		24.97218	18.2	-24		30.12042
18.4	-24		30.24169	17.8	-24		29.88043
18.4	-24		30.24169	17.8	-24		29.88043
17.9	-24		29.94011	17.4	-24		29.64389
17.9	-24		29.94011	17.4	-24		29.64389
17.6	-24		29.76172	17.2	-24		29.52694
17.6	-24		29.76172	17.2	-24		29.52694
17.3	-24		29.5853	16.9	-19.9		26.10785
17.3	-24		29.5853	16.9	-19.9		26.10785
17	-0.2		17.00118	16.7	3.8		17.12688
17	-0.2		17.00118	16.7	3.8		17.12688
16.8	23.5		28.88754	16.5	23.5		28.71411
16.8	23.5		28.88754	16.5	23.5		28.71411
16.6	23.5		28.77169	16.4	23.5		28.65676
16.6	23.5		28.77169	16.4	23.5		28.65676
16.4	23.5		28.65676	16.3	23.5		28.59965
16.4	23.5		28.65676	16.3	23.5		28.59965
16.3	23.5		28.59965	16.1	23.5		28.48614
16.3	23.5		28.59965	16.1	23.5		28.48614
16.2	23.5		28.54277	16	23.6		28.51245
16.2	23.5		28.54277	16	23.6		28.51245
-0.6	23.5		23.50766	9.8	23.6		25.55386
-0.6	23.5		23.50766	9.8	23.6		25.55386
-17.6	23.5		29.36001	-7.3	23.5		24.60772
-17.6	23.5		29.36001	-7.3	23.5		24.60772
-17.6	23.5		29.36001	-17.9	23.6		29.62043
-17.6	23.5		29.36001	-17.9	23.6		29.62043
-17.5	23.6		29.38044	-17.6	23.6		29.44011
-17.5	23.6		29.38044	-17.6	23.6		29.44011
-17.5	23.6		29.38044	-17.6	23.5		29.36001
-17.5	23.6		29.38044	-17.6	23.5		29.36001
-17.4	21.2		27.42626	-17.5	23.5		29.30017
-17.4	21.2		27.42626	-17.5	23.5		29.30017
-17.3	-2.6		17.49428	-17.4	23.5		29.24055
-17.3	-2.6		17.49428	-17.4	23.5		29.24055
-17.2	-24		29.52694	-17.4	-0.2		17.40115
-17.2	-24		29.52694	-17.4	-0.2		17.40115

-17.3	-24		29.5853
-17.3	-24		29.5853
-17.2	-24		29.52694
-17.2	-24		29.52694
-17.2	-24		29.52694
-17.2	-24		29.52694
-17.1	-24		29.4688
-17.1	-24		29.4688
-17.1	-24		29.4688
-17.1	-24		29.4688

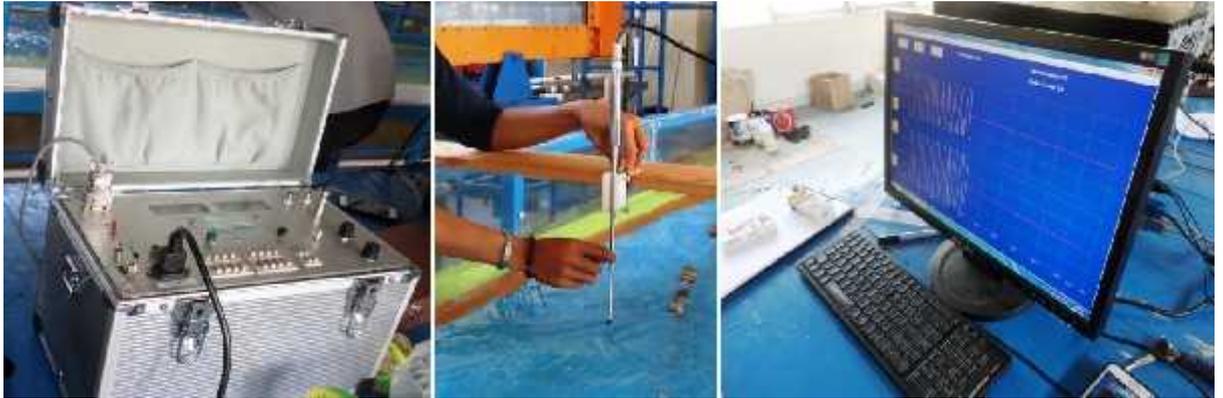
LAMPIRAN 1

Alat- alat yang digunakan dalam penelitian

1. Saluran terbuka (fluem) multi guna berukuran panjang 10m, lebar



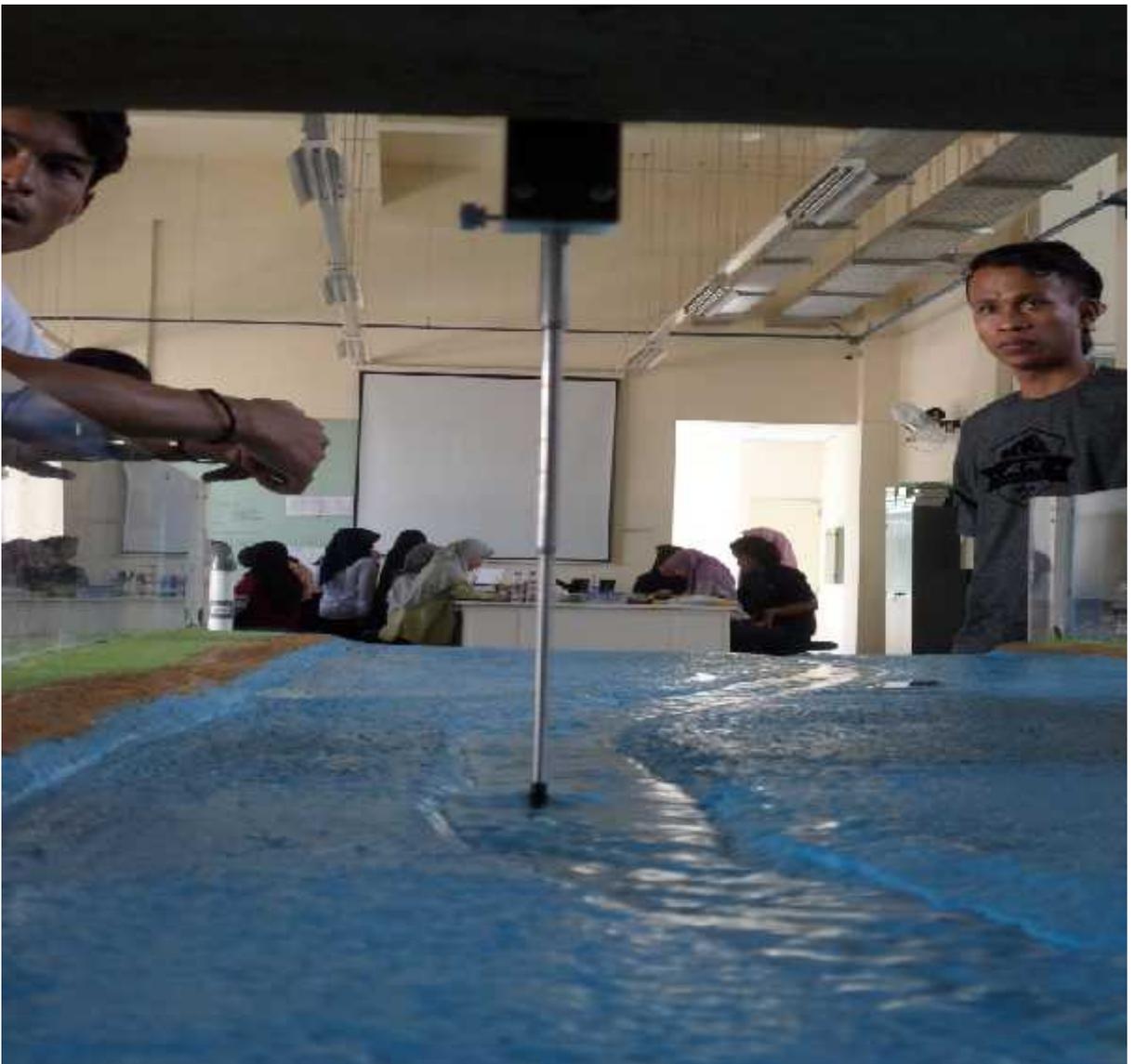
2. Unit Current meter dan , yang berfungsi mengukur kecepatan aliran dan komputer untuk menyimpan hasil pengambilan data di setiap titik.

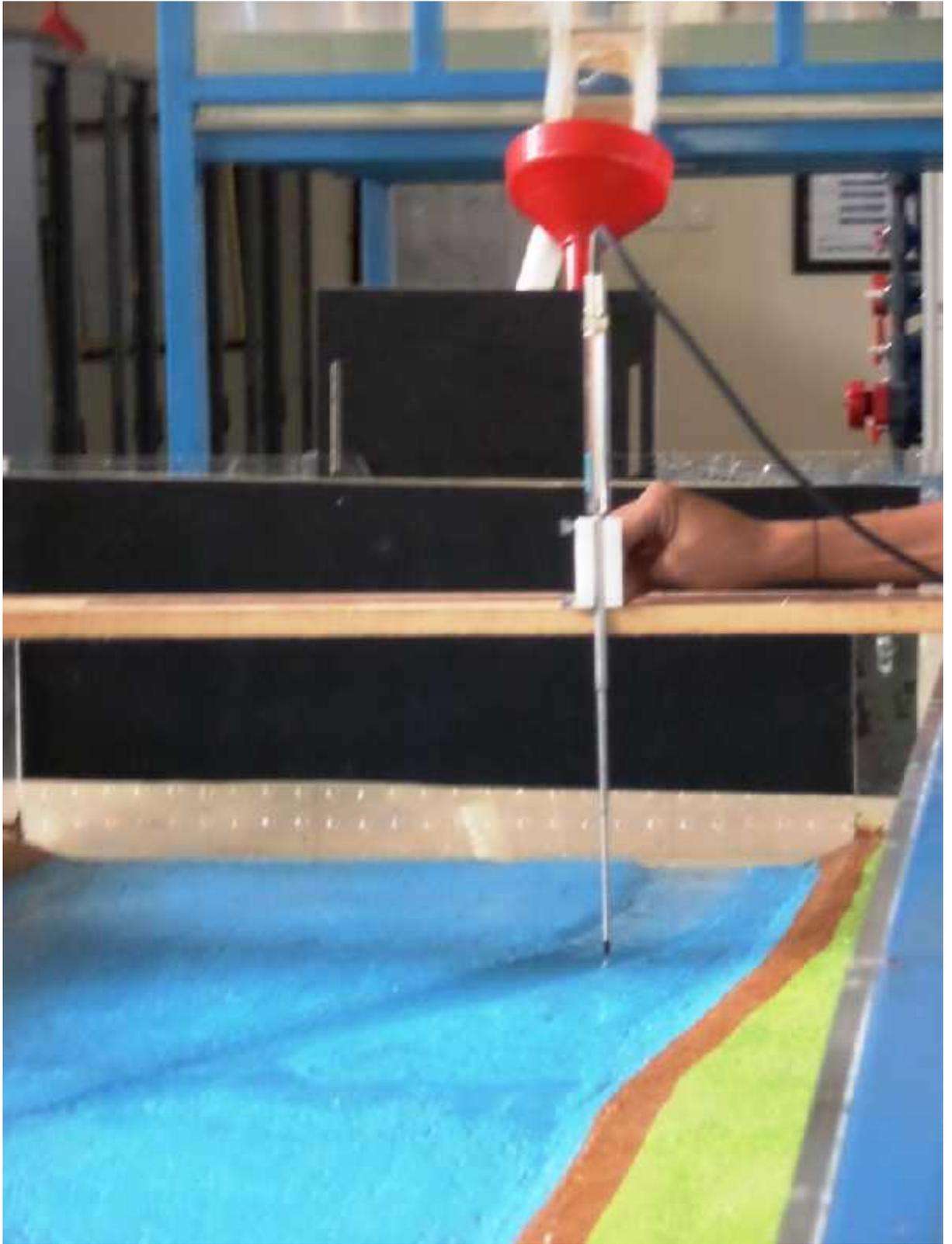


LAMPIRAN 2
Dokumentasi Penelitian



Mengalirkan debit normal dan debit banjir





Pengambilan data debit normal setiap titik



Pengambilan data debit banjir setiap titik

16	-24		28.84441	-18.9	23.6		30.23524
15.9	-24		28.78906	-18.9	23.6		30.23524
15.9	-24		28.78906	-18.9	23.6		30.23524
-2	-24		24.08319	-18.9	23.6		30.23524
1	23.6		23.62118	-19.3	-24.1		30.87556
1	23.6		23.62118	-19.3	-24.1		30.87556
20.2	23.6		31.06445	-19.3	-24.1		30.87556
20.2	23.6		31.06445	-19.4	-24		30.86033
19.3	23.6		30.48688	-19.4	-24		30.86033
19.3	23.6		30.48688	-19.4	-23.2		30.24235
18.8	23.6		30.17284	-19.4	-23.2		30.24235
18.8	23.6		30.17284	-19.3	0.6		19.30932
18.4	23.6		29.92524	-19.3	0.6		19.30932
18.4	23.6		29.92524	-19.2	23.6		30.42367
18	23.6		29.68097	-19.2	23.6		30.42367
18	23.6		29.68097	-19.2	23.5		30.34617
17.8	23.6		29.56011	-19.2	23.5		30.34617
17.8	23.6		29.56011	-19.1	23.5		30.283
17.5	-0.2		17.50114	-19.1	23.5		30.283
17.5	-0.2		17.50114	-19.1	23.5		30.283
17.2	-24		29.52694	-19.1	23.5		30.283
17.2	-24		29.52694	-19	23.5		30.22003
17	-24		29.41088	-19	23.5		30.22003
17	-24		29.41088	-19	23.6		30.29785
16.8	-24		29.29573	-19	23.6		30.29785
16.8	-24		29.29573	-18.9	23.6		30.23524
16.7	-24		29.2385	-18.9	23.6		30.23524
16.7	-24		29.2385	-18.9	23.6		30.23524
16.6	-24		29.1815	-18.9	23.6		30.23524
16.6	-24		29.1815	-18.8	23.6		30.17284
16.4	-24		29.0682	-18.8	23.6		30.17284
16.4	-24		29.0682	-18.7	23.5		30.03232
16.3	-24		29.01189	-18.7	23.5		30.03232
16.3	-24		29.01189	-14.2	23.5		27.45706
16.2	-24.1		29.03877	-14.2	23.5		27.45706
16.2	-24.1		29.03877	5	23.5		24.02603
16.2	-24.1		29.03877	5	23.5		24.02603
16.2	-24.1		29.03877	19.4	23.6		30.55029
16.2	-24		28.95583	19.4	23.6		30.55029
16.2	-24		28.95583	18.8	23.6		30.17284
16.1	-24		28.9	18.8	23.6		30.17284
16.1	-24		28.9	18.3	23.6		29.86386
-1.9	-24		24.07509	18.3	23.6		29.86386
-1.9	-24		24.07509	18	23.6		29.68097

-19.6	-24		30.98645	18	23.6		29.68097
-19.6	-24		30.98645	17.7	-0.2		17.70113
-19.3	-24.1		30.87556	17.7	-0.2		17.70113
17.4	-24		29.6438	-19	23.6		30.29785
17.4	-24		29.64389	-19	23.6		30.29785
17.2	-24		29.52694	-18.9	23.6		30.23524
17.2	-24		29.52694	-18.9	23.6		30.23524
16.9	-24		29.35319	-18.9	23.6		30.23524
16.9	-24		29.35319	-18.9	23.6		30.23524
16.8	-24		29.29573	-18.8	23.5		30.09468
16.8	-24		29.29573	-18.8	23.5		30.09468
16.6	-24		29.1815	-18.7	23.6		30.11063
16.6	-24		29.1815	-18.7	23.6		30.11063
16.5	-24		29.12473	-18.7	23.6		30.11063
16.5	-24		29.12473	-18.7	23.6		30.11063
16.3	-24		29.01189	-18.6	23.6		30.04863
16.3	-24		29.01189	-18.6	23.6		30.04863
16.2	-24		28.95583	-18.5	23.6		29.98683
16.2	-24		28.95583	-18.5	23.6		29.98683
16.2	-24		28.95583	-18.5	23.5		29.90819
16.2	-24		28.95583	-18.5	23.5		29.90819
16.1	-24		28.9	-18.5	23.6		29.98683
16.1	-24		28.9	-18.5	23.6		29.98683
16	-24		28.84441	-18.4	23.6		29.92524
16	-24		28.84441	-18.4	23.6		29.92524
16	-24		28.84441	-18.4	23.6		29.92524
16	-24		28.84441	-18.4	23.6		29.92524
-2	-24.1		24.18285	-18.4	23.6		29.92524
-2	-24.1		24.18285	-18.4	23.6		29.92524
-19.7	-24.1		31.12716	-18.3	23.6		29.86386
-19.7	-24.1		31.12716	-18.3	23.6		29.86386
-19.2	-24		30.735	-18.2	23.6		29.80268
-19.2	-24		30.735	-18.2	23.6		29.80268
-19.2	-24		30.735	-9	23.6		25.25787
-19.2	-24		30.735	-9	23.6		25.25787
-19.2	-24		30.735	10.1	23.6		25.67041
-19.2	-24		30.735	10.1	23.6		25.67041
-19.2	-24		30.735	19.6	23.6		30.67768
-19.2	-24		30.735	19.6	23.6		30.67768
-19.2	-24.1		30.81315	19	23.6		30.29785
-19.2	-24.1		30.81315	19	23.6		30.29785
-19.2	-0.2		19.20104	18.6	23.6		30.04863
-19.2	-0.2		19.20104	18.6	23.6		30.04863
-19.1	23.6		30.36067	18.3	23.6		29.86386

-19.1	23.6		30.36067	18.3	23.6		29.86386
-19	23.6		30.29785	18	23.6		29.68097
-19	23.6		30.29785	18	23.6		29.68097
17.7	23.6		29.5	15.9	-24		28.78906
17.7	23.6		29.5	15.9	-24		28.78906
17.5	23.6		29.38044	16	-24		28.84441
17.5	23.6		29.38044	16	-24		28.84441
17.3	23.6		29.26175	15.9	-24		28.78906
17.3	23.6		29.26175	15.9	-24		28.78906
17.1	23.6		29.14395	15.9	-24		28.78906
17.1	23.6		29.14395	15.9	-24		28.78906
16.9	23.6		29.02706	16	-24		28.84441
16.9	23.6		29.02706	16	-24		28.84441
16.8	5		17.52826	16	-24		28.84441
16.8	5		17.52826	16	-24		28.84441
16.6	-18.8		25.07987	16	-24		28.84441
16.6	-18.8		25.07987	16	-24		28.84441
16.4	-24		29.0682	16	-24		28.84441
16.4	-24		29.0682	16	-24		28.84441
16.4	-24		29.0682	16	-24		28.84441
16.4	-24		29.0682	16	-24		28.84441
16.3	-24.1		29.09467	16	-24		28.84441
16.3	-24.1		29.09467	16	-24		28.84441
16.2	-24		28.95583	12.4	-24		27.01407
16.2	-24		28.95583	12.4	-24		27.01407
16.1	-24		28.9	-1.2	-24		24.02998
16.1	-24		28.9	-1.2	-24		24.02998
16	-24		28.84441	-15.4	-24		28.51596
16	-24		28.84441	-15.4	-24		28.51596
16	-24		28.84441	-19.8	-24		31.11334
16	-24		28.84441	-19.8	-24		31.11334
16	-24		28.84441	-19.7	-24		31.0498
16	-24		28.84441	-19.7	-24		31.0498
16	-24		28.84441	-19.7	-24.1		31.12716
16	-24		28.84441	-19.7	-24.1		31.12716
16	-24		28.84441	-19.7	-24.1		31.12716
16	-24		28.84441	-19.7	-24.1		31.12716
15.9	-24		28.78906	-19.6	-24.1		31.06397
15.9	-24		28.78906	-19.6	-24.1		31.06397
16	-24		28.84441	-19.6	-24		30.98645
16	-24		28.84441	-19.6	-24		30.98645
16	-24		28.84441	-19.6	-24		30.98645
16	-24		28.84441	-19.6	-24		30.98645
15.9	-24		28.78906	-19.5	-24.1		31.00097

15.9	-24		28.78906	-19.5	-24.1		31.00097
15.9	-24		28.78906	-19.5	-24		30.92329
15.9	-24		28.78906	-19.5	-24		30.92329
-19.5	-24		30.92329	-18.4	23.6		29.92524
-19.5	-24		30.92329	-18.4	23.6		29.92524
-19.4	-24.1		30.93816	-18.4	23.6		29.92524
-19.4	-24.1		30.93816	-18.4	23.6		29.92524
-19.3	-24.1		30.87556	-18.4	23.6		29.92524
-19.3	-24.1		30.87556	-18.4	23.6		29.92524
-19.3	-24		30.79756	-18.4	23.6		29.92524
-19.3	-24		30.79756	-18.4	23.6		29.92524
-19.2	-0.2		19.20104	-18.4	23.6		29.92524
-19.2	-0.2		19.20104	-18.4	23.6		29.92524
-19.2	23.6		30.42367	-18.3	23.6		29.86386
-19.2	23.6		30.42367	-18.3	23.6		29.86386
-19.1	23.6		30.36067	-18.3	23.6		29.86386
-19.1	23.6		30.36067	-18.3	23.6		29.86386
-19	23.6		30.29785	-18.2	23.6		29.80268
-19	23.6		30.29785	-18.2	23.6		29.80268
-19	23.6		30.29785	-18.2	23.6		29.80268
-19	23.6		30.29785	-18.2	23.6		29.80268
-19	23.6		30.29785	-18.2	23.6		29.80268
-19	23.6		30.29785	-18.2	23.6		29.80268
-19	23.6		30.29785	-18.2	23.6		29.80268
-18.9	23.6		30.23524	-18.2	23.6		29.80268
-18.9	23.6		30.23524	-18.2	23.6		29.80268
-18.9	23.6		30.23524	-18.2	23.6		29.80268
-18.9	23.6		30.23524	-18.2	23.6		29.80268
-18.9	23.6		30.23524	-18.2	23.6		29.80268
-18.9	23.6		30.23524	-18.2	23.6		29.80268
-18.8	23.6		30.17284	-18.2	23.6		29.80268
-18.8	23.6		30.17284	-18.2	23.6		29.80268
-18.8	23.6		30.17284	-18.2	23.6		29.80268
-18.8	23.6		30.17284	-18.2	23.6		29.80268
-18.7	23.6		30.11063	-18.2	23.6		29.80268
-18.7	23.6		30.11063	-18.2	23.6		29.80268
-18.7	23.6		30.11063	-18.1	23.6		29.74172
-18.7	23.6		30.11063	-18.1	23.6		29.74172
-18.6	23.6		30.04863	-18.1	23.6		29.74172
-18.6	23.6		30.04863	-18.1	23.6		29.74172
-18.6	23.6		30.04863	-18.1	23.6		29.74172
-18.6	23.6		30.04863	-18.1	23.6		29.74172
-18.6	23.6		30.04863	-18.1	23.5		29.66243
-18.6	23.6		30.04863	-18.1	23.5		29.66243
-18.5	23.6		29.98683	-18.1	23.5		29.66243

-18.5	23.6		29.98683	-18.1	23.5		29.66243
-18.5	23.6		29.98683	-18.1	23.6		29.74172
-18.5	23.6		29.98683	-18.1	23.6		29.74172
-18.1	23.6		29.74172	-18	23.6		29.68097
-18.1	23.6		29.74172	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.6		29.68097	-18	23.6		29.68097
-18	23.5		29.60152	-18	23.6		29.68097
-18	23.5		29.60152	-18	23.6		29.68097
-18	23.5		29.60152	-18.1	23.6		29.74172
-18	23.5		29.60152	-18.1	23.6		29.74172
-18	23.6		29.68097				
-18	23.6		29.68097				
-18	23.6		29.68097				
-18	23.6		29.68097				
-18	23.6		29.68097				
-18	23.6		29.68097				
-18	23.6		29.68097				
-18	23.6		29.68097				
-18	23.6		29.68097				

Rata rata	29.20252
-----------	----------

LAMPIRAN